



MAT: 1. Observaciones Minuta Técnica DFZ: "Evaluación de Riesgos a la Salud de la Población en el Marco del Procedimiento Sancionatorio Rol A-002-2013."

2. Acompaña documento.

ANT: Res. Ex. D.S.C./P.S.A. N° 000264, de 31 de marzo de 2016.

REF: Expediente Sancionatorio Rol A-002-2013.

Santiago, 15 de abril de 2016

Sra.
Camila Martínez Encina
Fiscal Instructora
División de Sanción y Cumplimiento
Superintendencia del Medio Ambiente
Presente.

Javier Vergara Fisher, abogado, en representación de Compañía Minera Nevada SpA ("CMN"), en el expediente de proceso de sancionatorio Rol A-002-2013, me permito hacer presente las consideraciones y antecedentes que se expondrán a continuación, en relación con la Minuta Técnica DFZ "Evaluación de riesgos a la salud de la población en el marco del proceso A-002-2013", que fuera acompañada a éste mediante Memorandum N°125/2016, de 30 de marzo de 2016, emitido por la División de Fiscalización y Cumplimiento de esta Superintendencia del Medio Ambiente. El detalle y fundamento de dichas observaciones se contienen en documento adjunto "Comentarios a Minuta Técnica de Evaluación de los Riesgos de Salud en el Marco del Proceso Sancionatorio A-002-2013 - Análisis sobre los riesgos a la salud por ingesta del agua de Río Del Estrecho - Proyecto Pascua Lama" (en adelante, también, el "Informe Adjunto"), el que además incluye la evaluación experta de los riesgos para la salud de la población derivados de la ingesta de agua del Río Del Estrecho, durante el período de estudio (2009 a 2014).

- 1. Observaciones a Minuta Técnica DFZ "Evaluación de riesgos a la salud de la población en el marco del procedimiento sancionatorio Rol A-002-2013" (en adelante "Minuta de Evaluación de Riesgos").**

Mediante Memorandum N°125/2016, de fecha 30 de marzo de 2016, la División de Fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante "DFZ/SMA"), remitió a la División de Sanción y Cumplimiento la Minuta de Evaluación de Riesgos requerida en la Res. Ex. N°1191 de 17 de diciembre de 2015. Dicho Memorandum y Minuta de Evaluación adjunta se incorporaron material y jurídicamente al proceso mediante Resuelvo II.b) de la Res. Ex. N°264 del 31 de marzo de 2016.

a) Comentario general a la Minuta Técnica de Evaluación de Riesgos elaborada por la DFZ/SMA:

En primer lugar, debemos destacar la calidad del diseño del estudio realizado por la DFZ/SMA; éste muestra una adecuada caracterización del área de estudio así como una correcta selección de los puntos de control (VIT-8 en la sub cuenca del río El Carmen y NE-9, que amplía el área en la cuenca del río Del Estrecho, aguas abajo del punto NE-8). En lo general, se emplean correctamente las metodologías de evaluación de riesgo en salud, así como el valor UCL95 para caracterizar las concentraciones representativas de los períodos analizados de las sustancias químicas de interés en el punto de monitoreo NE-8. Igualmente, se hace cargo adecuadamente de las incertidumbres que la evaluación de riesgo presenta para este caso en estudio, señalando que la calidad del agua en el período pre proyecto –en la sub cuenca en estudio así como en la sub cuenca de referencia– presenta niveles elevados respecto de algunas de las sustancias consideradas en el estudio. Finalmente, es destacable que se haga presente que la metodología aplicada no considera herramientas específicas orientadas a identificar relaciones de causalidad entre los niveles de riesgo y la presencia de un proyecto específico, cuestión que impide confirmar o descartar que el Proyecto Pascua Lama, por sí solo haya generado aportes adicionales al nivel de riesgo.

No obstante, como veremos en el capítulo siguiente, la Minuta de Evaluación de Riesgos, incurre en ciertos errores en el análisis, los que afectan el resultado y conclusiones de la evaluación

b) Errores metodológicos que se observan en el análisis efectuado por la DFZ/SMA:

Los errores incurridos en análisis efectuado en el informe, que afectan sus conclusiones y resultado de evaluación son los siguientes:

, a saber:

- La definición que emplea de los conceptos de exposición crónica, subcrónica y aguda, no coincide con la recomendación ATSDR, EPA y OMS que define exposición crónica a toda exposición sostenida por un año y más, subcrónica a una exposición sostenida entre 15 días y un año y aguda a toda exposición por menos de 15 días. La definición utilizada para caracterizar un efecto crónico (entre un 10% y el 100% del tiempo total de vida del individuo) encuentra su principal dificultad al aplicarla a lactantes y niños menores ya que en un menor de un año no es posible hablar de exposición crónica y si se aplica el criterio

del 10% del tiempo de vida se podría hablar de exposición crónica solamente en niños mayores de 10 años, todo lo cual debiera invalidar el análisis realizado para niños en donde se asume un peso promedio de 14 kilos, lo cual es el peso promedio de niños de menor edad (3 años).

- Para la estimación del riesgo del As en sus efectos cancerígenos, el estudio de la SMA, incurre en un error al estimar que las mayores concentraciones de As en el agua observadas durante el año 2012 se mantienen por los próximos 70 años de vida de estas personas, lo cual no es correcto, ya que el supuesto de que se mantenga esa concentración de arsénico en el agua por los próximos 70 años evidentemente no constituye una condición de la realidad actual ni futura en el sector, tal como lo indican los mismos análisis de UCL95 para el As en el agua del punto NE-8 presentados en este estudio. Al aplicar este supuesto equivocado en su análisis del riesgo incremental de cáncer por esta exposición obtiene resultados sobreestimados.
- Otro error en que incurre el informe de evaluación de riesgo de la SMA es que para estimar el riesgo de efectos crónicos de Al, Fe y Mn para el período no activación PAT, se asume que la dosis de exposición de las personas sería la dosis observada en ese año proyectada por los 30 años (tiempo en que se estima el efecto crónico), lo cual no es correcto y nuevamente informa resultados sobreestimados.
- Por último, en el estudio de riesgo de la SMA se hace un uso equivocado del cálculo del Índice de Peligro Total (IPT), debido a que los efectos de las sustancias analizadas, los órganos que son potencialmente afectados y los mecanismos de acción de cada una de estas sustancias químicas analizadas son diferentes, por lo cual, siguiendo las orientaciones de la Guía Metodológica del SEA y las recomendaciones de la OMS, EPA y ATSDR, no es posible fundamentar que los efectos sean aditivos, como equivocadamente señala el estudio de la SMA. La EPA acepta el uso del Hazard Index (IPT), cuando los efectos de una mezcla de químicos de preocupación son razonablemente similares, es decir tienen el mismo modo de acción y/o generan los mismos efectos, sobre los mismos órganos blanco; o se trata de una misma sustancia química que puede ingresar al organismo por diferentes vías de exposición pudiendo sumarse sus efectos (p.e: arsénico que actúe por exposición a través de la ingesta de agua, de suelos contaminados, inhalatoria por contaminación del aire, contacto en la piel), condiciones que no se apliquen a la situación que se está evaluando. Por ello, la suma de los coeficientes de peligro (HQ), no es una metodología adecuada y lleva a conclusiones equivocadas.

Teniendo presente lo anterior, la suma de HQs que efectúa la DFZ/SMA en su Minuta de Evaluación de Riesgos, no es una metodología adecuada que permita arribar a conclusiones acertadas.

En el documento "Comentarios a Minuta Técnica de Evaluación de Riesgos a la Salud de la Población" que se acompaña a esta presentación, se abordan en detalle los comentarios técnicos recién enunciados.

c) Otras circunstancias que afectan el valor y utilidad de la Minuta de Evaluación de Riesgos elaborada por la DFZ/SMA:

Por otro lado, sin perjuicio de las deficiencias técnicas que se indican respecto de la aplicación metodológica de la Minuta de Evaluación de Riesgos, existen otras circunstancias que afectan significativamente su valor como herramienta útil a la hora de evaluar las conclusiones a las que dicho instrumento arriba, circunstancias que son relevadas por el propio instrumento, éstas son:

- La caracterización de la exposición se desarrolla para la población humana que consumiría agua para la bebida directamente desde el río a la altura del punto de monitoreo NE-8. La elección de dicha ubicación obedece a la información proporcionada en los instrumentos de evaluación del Proyecto, durante el año 2005, según los cuales dicho punto correspondería al punto de control de la NCh 409, cuya ubicación fue elegida por ser el primer lugar de captación de agua para consumo humano aguas abajo del área del Proyecto.

Pues bien, dicha situación obedece a un escenario hipotético de exposición, toda vez que la definición del punto NE-8 como punto de control de norma para consumo humano se efectuó en base a información censal del año 2002, siendo otros los supuestos de hecho en la actualidad. En efecto, tal y como señala la propia Minuta, en el sector de Chollay (área de estudio para efectos de evaluación de riesgo en salud), en el año 2008 se instaló un Sistema de Agua Potable Rural que abastece a una población de 223 personas. De este modo, no es posible sostener que el grueso de la población de la localidad de Chollay (la que se encuentra aproximadamente a una distancia de 10 km aguas abajo del punto NE-8), ha bebido permanentemente durante toda su vida el agua (a razón de 2 litros/día por adulto y 1 litro/día por niño de 14 kilos de peso promedio) extraída directamente del río, captada a la altura del punto NE-8. En particular debemos hacer presente que dicho sistema de agua potable rural, utiliza como fuente de aprovisionamiento, aguas extraídas de pozo, con lo cual el supuesto fáctico del estudio no se condice con la realidad. Lo anterior hace que sus conclusiones no puedan ser consideradas como un antecedente respecto de generación de un nivel de riesgo efectivo respecto de la salud de la población de la localidad de Chollay.

- En segundo lugar, la Minuta de Evaluación de Riesgos incluye información que evidencia la existencia de situaciones de riesgo a la salud de la población durante el período anterior a la ejecución del Proyecto, lo que permite inferir que, de manera previa al inicio de la construcción de las obras del mismo, *“la subcuenca del Río Estrecho Chollar ya contenía altos niveles de metales en sus aguas, asociados a las características mineralógicas del territorio.”* (pg 3 de 71.)
- Por otro lado, la propia Minuta de Evaluación de Riesgos reconoce que la metodología de evaluación de riesgos a la salud humana empleada no permite —ya que no está diseñada

para ello- arribar a conclusiones asociadas a determinar la causalidad de los riesgos identificados en un sitio específico. Señala la Minuta que dicha metodología *“no tiene herramientas específicas orientadas a identificar relaciones de causalidad entre los niveles de riesgo obtenidos en un sitio y la presencia de un proyecto específico en el territorio, por tanto impide confirmar o descartar que el proyecto Pascua Lama, por sí solo, haya generado aportes adicionales al nivel riesgo pre-existente en el territorio.”* (Pg. 3 de 71) (Lo destacado es nuestro.)

- No obstante, señala la Minuta, la metodología empleada resultaría útil para cuantificar dichos riesgos, cuantificación que, como se enunció anteriormente, adolece de errores en su aplicación, de modo que tampoco es posible concluir que dicha evaluación de riesgos cuantifique los riesgos a la salud de la población de forma correcta. En efecto, dicha cuantificación se hace mediante un ejercicio adicional, que es precisamente el cálculo y suma del Índice de Peligro Total resultante, ejercicio que no es pertinente ni correcto, de la forma en que se realiza por la Minuta (no siendo aceptado por tanto por los estándares internacionales ni las guías metodológicas nacionales ni internacionales), de modo que resulta en que las conclusiones a las que arriba no son correctas.

2. Informe “Comentarios a Minuta Técnica de Evaluación de los Riesgos de Salud en el Marco del Proceso Sancionatorio A-002-2013 - Análisis sobre los riesgos a la salud por ingesta del agua de Río Del Estrecho - Proyecto Pascua Lama”.

Por medio de esta carta, solicitamos a Ud. tener por acompañado el Informe Adjunto preparado por la Dra. Soledad Ubilla F. y el Dr. Claudio Vargas R., profesionales expertos en salud pública de la empresa consultora Gestión Ambiental Consultores¹. En dicho documento, se aborda una evaluación de riesgo para la salud de la población derivado de la ingesta de agua proveniente del río Estrecho, durante el período de estudio (2009 a junio de 2014). Conjuntamente, en dicho instrumento se realizan observaciones a la Minuta de Evaluación de Riesgos elaborada por la DFZ/SMA, cuyas principales conclusiones se enunciaron en el acápite anterior y se desarrollan en detalle en el informe adjunto.

Cabe señalar que el informe que se acompaña toma como base el mismo supuesto fáctico e hipotético que la Minuta Técnica de la DFZ/SMA, esto es, se asume –para efectos del ejercicio- que la exposición se da en un escenario de consumo crónico, esto es, permanente y por toda la vida de las personas, a agua tomada directamente del río en el punto NE-8, a razón de 2 l/día para los adultos. Como vimos anteriormente, dicho escenario no es real, por cuanto la gran mayoría de las personas que encontramos en la localidad de Chollay (en asentamientos no permanentes), consume agua proveniente de Sistemas de Agua Potable Rural (APRs) cuya fuente es agua de pozo

¹ Ver curriculum anexos al informe adjunto, para cada uno de los profesionales que participaron en la elaboración del informe adjunto.

y por lo tanto no agua superficial tomada directamente del río, o bien, agua distribuida por el municipio en camiones aljibe.

Teniendo en cuenta esta situación, las conclusiones incluidas en el Informe anexo, al igual que las de la Minuta de la DFZ/SMA, no pueden ser asumidas como un hecho que dé cuenta de un nivel de riesgo efectivo para la salud de la población.

Para evaluar el riesgo a la salud, el análisis se realiza considerando lo siguiente:

1. Con la data de información sobre calidad del agua del punto NE-8, se verifica la evaluación de riesgo en salud realizada por la SMA, para los parámetros de preocupación identificados en ese estudio y para los mismos períodos.
2. Cabe destacar que en el informe adjunto se aborda un aspecto que no fue considerado por la Minuta de la DFZ/SMA, como son los efectos que ciertas concentraciones de algunos parámetros producen sobre la aceptabilidad del agua. Las concentraciones a las cuales se hace inaceptable el agua suelen ser mucho menores que las concentraciones a partir de las cuales se podría evidenciar algún daño a la salud, lo que puede implicar que las personas no ingieran el agua producto de problemas en el sabor, olor, color, turbiedad, generación de espumas y capa oleosa en algunos casos y, con ello, se traducen en una barrera de protección evitando de este modo que se genere riesgo para su salud. En dicho sentido, una de las sustancias que, aun en bajas concentraciones, afecta la aceptabilidad del agua, es el Manganeseo.
3. Los criterios de referencia son los mismos que los señalados por la SMA, normativa chilena NCh 409, normativas internacionales de referencia (EPA, ATSDR, OMS), utilizando la metodología recomendada por la Guía de Evaluación de Riesgo en Salud publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), que se basa en la metodología EPA, corrigiendo los errores metodológicos de análisis que se detectaron en la evaluación de riesgo de la SMA previamente sistematizados.
4. En todos los casos se fundamenta la metodología utilizada para obtener los resultados que se presentan en el informe adjunto, incluyendo los argumentos por los cuales no es razonable utilizar el Índice de Peligro Total en este caso.

La evaluación de riesgo en salud se realiza utilizando supuestos que consideran condiciones de los escenarios más desfavorables de exposición posibles, de manera de dar garantías sobre la solidez de sus resultados. Los supuestos utilizados son:

- a) En el informe se asume que las personas localizadas en el área de influencia del Proyecto (Chollay) consumieron al menos 2 litros/día de agua del río para adultos para todos los parámetros. No se realiza el análisis en niños debido a que, como se explica, existe una gran variabilidad en el consumo de agua dependiendo de la edad y por lo tanto resulta difícil establecer un valor promedio.

- b) Para definir las concentraciones a las cuales podría estar expuesta la población, considerando la variabilidad entre muestreos, se utilizó el límite superior del intervalo de confianza del 95% de la media (UCL 95), como lo recomienda la EPA (ProUCL versión 5.0), que es el mismo criterio utilizado por la SMA, a objeto de tener resultados comparables.

Los principales resultados de esta evaluación de riesgo señalan lo siguiente:

- Para el Aluminio (Al): de acuerdo a la dosis de referencia recomendada por la ATSDR/CDC, para calidad del agua de consumo humano, se utiliza la recomendación de ingesta segura con un límite de 1 mg/kg peso-día, para una persona adulta con un peso promedio de 70 kilos. Las concentraciones de Aluminio (mg/l) monitoreadas en la estación NE-8, en el período de no activación de PAT (UCL 95) alcanza a 7,265 mg/l. Por lo cual el cociente de peligro (HQ) de Al para una persona que hubiese consumido 2 litros del agua del río durante todo ese período y que siguiera expuesta a las concentraciones (UCL95) de Aluminio del período post infraccional por los próximos 29 años sería de 0,10 manteniendo las mismas consideraciones señaladas por la SMA. Con estos resultados se puede concluir que no hay riesgo para la salud atribuible al aluminio debido a las concentraciones de Al en el agua del río en el período de no activación del PAT. Si bien en el período pre infracción el HQ es mayor 0,25 se puede concluir que no existe un riesgo para la salud debido a que las concentraciones en el agua del río son de 8,87 mg/L (UCL95).
- Para el Arsénico (As): de la evaluación de riesgo respecto de efectos cancerígenos, utilizando la metodología del Slope Factor (Factor de Pendiente), se concluye que el riesgo incremental de cáncer a la piel a consecuencia de la ingesta de arsénico por consumo de 2 litros del agua del río todos los días del período de no activación PAT, es bajo ($1,41 \times 10^{-5}$). Adicionalmente, la estimación del riesgo incremental debido a la ingesta de arsénico del agua del río todos los días desde la puesta en marcha del proyecto (de octubre 2009 hasta la fecha) alcanza a $4,57 \times 10^{-5}$ personas que podrían contraer cáncer. Al respecto, el Programa Superfund de la EPA, establece un valor teórico de “una persona en un millón (10^{-6}) o menos que desarrolla el cáncer durante toda la vida”, como un riesgo aceptable. Entre ese valor y una frecuencia de una persona en diez mil (10^{-4}) que desarrolle cáncer durante toda la vida, recomienda evaluar si es necesario realizar acciones para reducir ese riesgo. En el caso en que el riesgo de cáncer exceda 10^{-4} , la EPA señala que se requiere llevar a cabo acciones reparatorias². Utilizando este criterio, se debiera evaluar si corresponde realizar alguna acción, para lo cual es indispensable avanzar en un diagnóstico más acabado de la situación de exposición al riesgo de la población, partiendo por determinar qué personas tomaron el agua del río para su consumo todos los días

² Se hace presente que el término “acciones reparatorias” empleado por la EPA se debe entender en el contexto del Programa Superfund, pero sacado de dicho contexto dice relación con la recomendación de tomar acciones destinadas a estudiar y acotar el riesgo identificado en el tramo correspondiente.

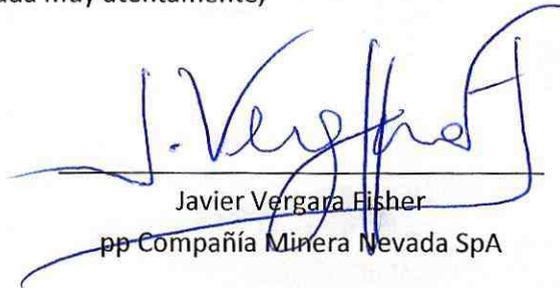
durante los períodos señalados. Cabe recordar que de acuerdo a la información incluida en el propio informe de la SMA, la población de Chollay obtiene el agua de beber de APR (Agua Potable Rural) principalmente. . Adicionalmente, la norma OMS aceptada por EPA y la norma chilena de As en agua potable, es de 0,01 mg/l, lo que equivale (usando el Slope Factor) a un riesgo aceptable socialmente de $2,14 * 10^{-4}$ de cáncer de piel en 70 años sometido a las concentraciones de As normadas en agua, por lo cual estos niveles de riesgo estimado en el hipotético caso en que las personas tomaran 2 litros de agua del río todos los días sería menor al riesgo aceptado por la norma.

- En relación a la exposición al Hierro (Fe), cabe señalar que hay evidencia de efectos negativos a la salud solamente con elevadas concentraciones de hierro en el agua, las cuales están muy por sobre aquellas concentraciones que afectan la aceptabilidad del agua debido a cambios de color, sabor y turbiedad (0,3 mg/l). Sin perjuicio de lo anterior, la evaluación de riesgo medida a través del cociente de peligro (HQ), concluye que el nivel de riesgo en el período de no activación PAT es de 0,046, valor que está muy por debajo del valor 1, a partir del cual sería posible poder observar algún riesgo a la salud atribuible a esta exposición. Por ello se concluye que para las personas adultas que hubieren ingerido todos los días del año 2 litros de agua del río, no existe un riesgo para la salud asociado a este parámetro.
- En el caso del Manganeseo (Mn), se confirma que desde el período de línea base o pre-proyecto, las concentraciones de este parámetro superan la NCh409/2005. La evidencia indica que es posible observar algunos efectos sobre la salud en dosis de ingesta en agua de beber sobre 0,024 mg/kg-día , por lo cual en base a estas dosis de referencia de la EPA, se concluye que el cociente de peligro (HQ) para el período de no activación PAT es de 1,573. Esto implica que para las personas que hubieren ingerido 2 litros del agua del río todos los días durante ese período (febrero 2012 a enero 2013), sería posible observar un riesgo a la salud. Considerando que la EPA reporta que en ingesta por sobre los 10 mg/día no sería posible descartar efectos en la salud (NOAEL), las concentraciones de Manganeseo en el agua del río (UCL 95) a las que pudo estar expuesta una persona que tomó 2 litros diarios de agua del río, alcanzarían un consumo de 4,27 mg de Mn/día, por lo que se puede concluir que aún existe un margen para alcanzar el límite (NOAEL), a partir del cual se podría observar algún efecto sobre la salud debido a esta causa. Por otro lado, es importante tener presente que el Mn es una sustancia cuya presencia en el agua, en concentraciones superiores a 0,1 mg/l, afecta su aceptabilidad, por lo que se activa la barrera de protección que evita la ingesta de agua, en concentraciones menores a aquellas definidas como de riesgo potencial.

Por lo expuesto, pido a Ud. tener por acompañado el documento "Comentarios a Minuta Técnica de Evaluación de los Riesgos de Salud en el Marco del Proceso Sancionatorio A-002-2013 - Análisis sobre los riesgos a la salud por ingesta del agua de Río Del Estrecho - Proyecto Pascua Lama" y así mismo tener presente para todos los efectos legales, el análisis y conclusiones a las que arriba

tanto como las observaciones que se realizan respecto de la metodología empleada en la Minuta de Evaluación de Riesgos elaborada por la DFZ/SMA.

Sin otro particular le saluda muy atentamente,



Javier Vergara Fisher
pp Compañía Minera Nevada SpA

**SOLEDAD CECILIA UBILLA FONCEA
MÉDICO CIRUJANO
GERENTE DE PROYECTOS**

Soledad Ubilla trabaja en GAC desde mediados del 2010 como Gerente de Proyectos dirigiendo y coordinando recursos y acciones que permitan garantizar la realización de asesorías, auditorías, declaraciones y estudios de impacto ambiental, estudios de riesgo en salud y responder a cualquier otro requerimiento que sea solicitado a Gestión Ambiental Consultores. Desde 2012 se desempeña principalmente como Jefe de Proyectos específicos y asesora en los temas de auditoría sanitario-ambiental, evaluación de riesgo en salud, tramitaciones sanitarias complejas a otros proyectos en ejecución, evaluación de sitios contaminados, entre otros.

➤ **Áreas de Especialidad**

Coordinación y Gestión de proyectos
Administración y Control de Gestión
Políticas Públicas y Políticas sanitario-ambientales
Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
Calificaciones Técnicas y Autorizaciones Sanitarias
Regularizaciones Ambientales y Sanitarias
Auditorías ambientales
Estudios de evaluación de riesgo en salud
Evaluación y gestión ambiental de sitios potencialmente contaminados
Evaluación de impacto ambiental (EIAs y DIAs)
Estudios por olores molestos (metodologías de medición y regulación internacional).
Programas de cumplimiento y otras acciones derivadas de fiscalizaciones Superintendencia de Medio Ambiente.
Peer review de EIAs

➤ **Experiencia Profesional**

En su experiencia profesional, Soledad Ubilla ha desempeñado labores tanto en el área pública como privada..

Experiencia en el área pública

- Asesoría técnica para la revisión y resolución del modelo de gestión de los

hospitales denominados Hospitales Experimentales y Hospitales Clínicos Concesionados, como Secretaria Técnica a solicitud de la Subsecretaria de Redes Asistenciales. Mayo 2014 en adelante.

- Asesoría técnica para la revisión y actualización de los conceptos relativos a la Evaluación de Riesgo a la Salud humana con miras a su inclusión en la gestión medioambiental chilena, para el Ministerio del Medio Ambiente, División de Políticas y Normas. Septiembre a Diciembre 2010.
- Asesora de la Dirección del INE en temas medioambientales, responsable de organización de la Conferencia Internacional sobre Estadísticas Medioambientales IAOS 2010.
- Asesora del Director de JUNAE B en la coordinación de programas de alimentación, recreación, becas incluido programas indígenas, creación del programa para evitar la deserción escolar y mejoramientos de los programas de salud escolar. 2007-2010
- Secretaria General de la Corporación Comunal de La Florida a cargo de salud, ambiente y educación municipal 2009-2010
- Asesora Director INP en rediseño institucional y reforma de previsión social del Gobierno de Bachelet. 2006-2009
- Jefe de la División de Políticas Públicas Saludables y Promoción de la Subsecretaria de Salud Pública MINSAL, a cargo de Programas Nacionales de Salud Ambiental, Salud Ocupacional, Política de Medicamentos, Promoción de la Salud, Salud de Pueblos Indígenas, Medicinas Alternativas, Inocuidad Alimentaria, Programas Nacionales de Salud de Zoonosis y Vectores, Programa de Regulación de Prestadores de Salud y Profesiones de la Salud, Compromisos Internacionales en materia de Seguridad Química (Basilea, Estocolmo, Róterdam SAICM), Protocolo Montreal, contraparte OMS-OPS ámbitos sanitario ambientales. Diseño e instalación de las Autoridades Sanitarias Regionales, construcción de los Planes Regionales de Salud Pública y actualización de marcos regulatorios sanitario-ambientales que protejan la salud de la población (reglamento rellenos sanitarios, residuos peligrosos, manejo de lodos, seguridad en locales públicos, normas de aguas, regulación de medicinas alternativas, actualización del Formulario Nacional, actualización enfermedades profesionales en salud ocupacional, actualización reglamento de alimentos, etc.). 2005-2006
- Directora del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA). 2002-2004
- Asesora del Presidente Ricardo Lagos, en la División de Coordinación Interministerial de la Secretaría General de la Presidencia, en Medio Ambiente y todas las materias relativas a la Reforma de Salud que generó cuatro cuerpos legales: a) Reordenamiento de la institucionalidad de salud, hospitales autogestionados y fortalecimiento de la Autoridad Sanitaria, b) Sistema de Garantías en Salud AUGE, c) mejoramiento del sistema Isapres (ley corta y ley larga) y d) sistema de financiamiento de la reforma. 2001-2002
- Asesora de la Unidad de Evaluación de Tecnologías Sanitarias, Ministerio de Salud. 1998
- Asesora del Departamento Plan de Seguro de Seguro Público de Salud de Chile FONASA, poniendo en marcha la Carta de Derechos de los Pacientes que se implementó en más de 50 hospitales públicos. 1998
- Jefe de la División de Inversiones y Desarrollo de la Red Asistencial del Ministerio de Salud de Chile. Responsable de la gestión del Plan Nacional de Inversiones (mas de 550 proyectos en ejecución); desarrollo de instrumentos y acreditación de la red de servicios de salud; desarrollo de estudios de red asistencial regional para priorizar cartera

proyectos 2000; desarrollo de la Unidad de Evaluación de Tecnologías en Salud; desarrollo plan de mantenimiento hospitalario del sistema público; desarrollo de propuesta de red de enfermedades complejas, polos de desarrollo nacional, atención ambulatoria, red de urgencia, bancos de sangre, atención del paciente crítico (UCI - UTI), etc. 1996-1998

- Jefe del Departamento de Gestión y Control Interno del Fondo Nacional de Salud (FONASA). Contraparte del proyecto de reestructuración organizacional de FONASA como seguro público y asesora en planificación estratégica. 1995-1996
- Jefe de Salud Comunal en la Municipalidad de La Florida, área de validación de la estrategia de Atención Primaria para el Ministerio de Salud, responsable de los temas ambientales comunales. 1990-1995
- Jefe Comisión Técnica de Salud y de Ambiente de la Asociación Chilena de Municipalidades. 1993 - 1995.
- Subdirector médico en Hospital Florida (hospital de baja complejidad) de Concepción. 1986
- Directora Consultorio San Pedro de Concepción. 1986

Experiencia en el área privada

- Docente en cursos de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile en temas sanitario-ambientales. Realización curso breve a personal de la Seremi de Salud RM en nueva legislación ambiental, diciembre 2015.
- Docente del Diploma de Gestión de Salud de la USACH desde 2012 a la fecha.
- Docente del Magister de Gestión de Instituciones de Salud UDD desde el 2009 a la fecha.
- Docente de salud y ambiente de la UDD para pregrado y postgrado en diversos cursos desde el 2009 a la fecha.
- Asesora en el Diseño e Implementación de la Red Asistencial de Chiloé, responsable del proyecto en representación de la Universidad del Desarrollo, desde abril del 2012 a enero del 2014.
- Asesora de Imaginación Asuntos Corporativos en temas sanitarios ambientales, responsable del proyecto "Bases para la construcción de un Pacto Social en Salud", como secretaria ejecutiva que incluyó la participación de todos los gremios y colegios profesionales de la salud. 2006-2008.
- Subdirector y Jefe de Portafolio de Proyectos y médico investigador del Centro Latinoamericano de Investigaciones en Sistemas de Salud (CLAISS) que aporta a la investigación, gestión, financiamiento y gestación de políticas de salud, contribuyendo a mejorar los sistemas de salud con excelencia técnica e independencia política. Realiza más de 50 proyectos en países de Latinoamérica. 1997-2001
- Responsable "Proyecto de Salud y Ambiente en Caletas de Pescadores de Lengua y Larraquete, VIII Región". Financiado por PAESMI (Organización no gubernamental) en colaboración con el Colegio Médico Regional Concepción. A cargo de la puesta en marcha de programas integrales de promoción, prevención, programas de saneamiento ambiental y atención primaria de salud, realizando múltiples actividades de capacitación de equipos de salud y la comunidad, seminarios internacionales para compartir experiencias y apoyando otras iniciativas regionales en curso. 1986 - 1989.

- Responsable del área de gestión del “Proyecto de Mejoramiento de la Gestión en Salud y Ambiente para la Comuna de Isla de Maipo”. Proyecto integrante del programa de fortalecimiento municipal de la Subsecretaría de Desarrollo Regional, encargado a GREDIS (consultora experta en salud pública). 1995

➤ Participación en Proyectos GAC

Proyectos relevantes en que ha participado, se mencionan los siguientes:

- Evaluación de riesgo en salud del proyecto Pascua Lama
- Evaluación del riesgo en salud del proyecto minero de Caserones
- Análisis epidemiológico de la situación de salud de la Tercera y Octava Región 2015.
- Asesorías ambientales a diversas empresas en proceso de tramitación ambiental o en procesos de sanción ambiental (inmobiliarias, industriales, minería, etc.)
- Seguimiento de la situación de salud población del área de influencia de la Fundación de Huachipato
- Seguimiento de la situación de salud población del área de influencia de CELCO en Valdivia.
- Asesoría para desresidualizar los papeles y cartones reciclados CMPC.
- Preparación Guía Técnica para el manejo de papeles y cartones reciclados, CMPC.
- Participación en Scoping Ambiental y Social MLP a cargo de metodologías multicriterio y medio humano.
- Revisión crítica y control de calidad de los productos de Arqueología y Medio Humano en la Línea Base y elaboración del EIA Codelco Andina.
- Asesoría Estratégica a Viña Santa Rita en temas ambientales.
- Colaboración en diseño del Sistema de Declaración de Residuos del MMA
- Asesoría Estratégica Ambiental a Pucobre en proyectos y tramitaciones ambientales.
- Asesoría ambiental Volcán S.A.
- Asesoría Estratégica GNL Quinteros.
- EIA Proyecto de Desarrollo de MLP primera fase, coordinador de línea base Medio Humano, Arqueología, Paisaje, Turismo.
- Auditoría ambiental Minera El Águila.
- PTX de Minera El Águila: Frontera, Productora, Bandera.
- Asesoría ambiental y DIA de fortalecimiento de tratamiento Planta de Riles, en tramitación, a Industrias Vínicas SA.
- DIA proyecto inmobiliario Portezuelo en RM
- Auditoría ambiental de Empresa Christensen planta Antofagasta.
- Auditoría ambiental de todos los proyectos de Pucobre, III Región.
- DIA Bodega de licores RM
- DIA Modificación descarga CLR GNL Quinteros

- DIA Modificación Planta de Tratamiento de Aconcagua Foods
- DIA Actualización Planta de Reciclaje de Baterías TECNOREC
- Auditoría ambiental Cartulinas Maule CMPC
- Auditoría ambiental Papeles Cordillera CMPC.
- Estudio de riesgo en salud de EIA por disposición submarina de relave en Planta Pellets CMP y asesoría en temas de riesgo en salud derivados de la actividad de la planta (contaminación atmosférica y salud ocupacional).
- Asesoría ambiental por actualización de la gestión de Zona de Manejo de Residuos (ZOMARE) en Fundición Huachipato CMP.
- DIA actualización Planta Paine de MONSANTO.
- DIA Regularización Planta Pilfer de Envases Nacionales.
- DIA Extracción de Áridos Pozo Silva, Sacyr S.A.
- DIA Planta tratamiento residuos especiales ECOSER
- Asesoría en monitoreo de olores Planta Aconcagua Foods en Buin.
- Asesoría en evaluación impacto de olores en Plantel de Cerdos en Bollenar.
- Evaluación riesgo salud por nitratos proyecto Pascua Lama
- Evaluación de riesgo en salud por sulfatos proyecto Caserones
- Evaluación del riesgo en salud planta fotovoltaica SunEdison en Olmué
- Peer review EIA Productora, Minera El Águila.
- DIA Frontera de Minera El Águila.
- Scoping Proyecto Plazuela de Minera El Águila y CODELCO.
- Asesoría ambiental por sitio potencialmente contaminado a la empresa MOLYMET.
- Participación en revisión crítica y control de calidad en EIAs y DIAs realizadas en GAC Consultores.
- Participación como asesor experto en temas de salud en la preparación de solicitudes 25 q en diversos proyectos.

➤ Educación

Médico cirujano, Universidad de Chile. Santiago. Titulada en enero 1986.

Magíster en Gestión y Políticas Públicas, Escuela de Ingeniería Civil Industrial, Universidad de Chile y CIEPLAN (Corporación de Investigaciones Económicas para América Latina), 1994 – 1995.

Magíster (e) de Administración en Salud, Programa Interfacultades en Administración de Salud, Facultad de Ciencias Económicas Administrativas y Medicina, U de Chile 1989 - 1990.

Cursos de formación complementarios

1. Curso Internacional de Gestión y Política Ambiental para América Latina y el Caribe. Escuela de Estudios Ambientales CENMA y JICA. Calificada con

- distinción, 2004
2. Curso-Taller Difusión de la Estrategia para la Regulación de Olores en Chile y presentación experiencias internacionales en marcha, organizado por el Ministerio de Medio Ambiente julio 2013.
 3. Curso de Vigilancia en Salud, Instituto de Medicina Tropical Pedro Kourí, La Habana, Cuba, 2001.
 4. Modelos de Seguridad Social y Financiamiento en Salud, Experiencia Internacional y revisión del sistema de salud chileno. FACEA, Universidad de Chile, 1996.
 5. Diploma en Salud Pública Centro Latinoamericano de Perinatología y Desarrollo Humano, OPS-OMS, Montevideo Uruguay, 1988.
 6. Curso de Gerencia para responsables de actividades de control de enfermedades diarreicas e infecciones respiratorias agudas, Centro Latinoamericano de Perinatología y Desarrollo Humano, OPS-OMS, Montevideo Uruguay, 1988.
 7. Control Oficial de Productos Alimenticios. Ministerio de la Sanidad y el Consumo de España, Guatemala, 2004.
 8. Gestión de los Servicios Sanitarios. Ministerio de la Sanidad y el Consumo de España / OPS, Guatemala, 2004.
 9. Curso: "Actualización en Medicina Social", Universidad Autónoma Metropolitana de México y GICAMS, 1990.
 10. Primer Seminario Continuo de Educación en Salud, Departamento de Medicina Interna, Escuela de Medicina, PUC, 1993. Nombrada Colega de Jubilee, Centro de Educación en Salud Raleigh North Carolina, USA.
 11. Curso: "Los cuatro conceptos básicos de la epidemiología". II Congreso Chileno de Epidemiología, 1993.
 12. Curso: "Administración por Objetivos y Control de Gestión". Universidad Mariano Egaña, 1996.
 13. Cursos: "Un Enfoque Estratégico para el Control de Gestión" y "La Contabilidad en la Gestión de Empresas". DICTUC, Facultad de Ingeniería de la PUC. 1996
 14. Curso: "Técnica de Sugestión y Persuasión en Educación para la Salud", ORLA/UIES y Ministerio de Salud de Cuba, 1993.

➤ **Datos de Contacto**

subilla@gac.cl

(562) 7195606

Padre Mariano 103. Oficina 206

Providencia, Santiago

CLAUDIO ANDRÉS VARGAS RONA MÉDICO CIRUJANO

➤ **Áreas de Especialidad**

- Estudios de riesgo en la salud y bioestadística de salud

➤ **Participación en Proyectos**

Proyectos relevantes en que ha participado, se mencionan los siguientes:

- Estudio de Evaluación de Riesgo por exposición a BTEX en Talcahuano 2015.
- Estudio de Evaluación del Riesgo en Salud por la depositación submarina del relave de la Planta Pellets CMP en Huasco 2012.
- Estudio de evaluación de riesgo en salud por la calidad del aire en Huasco. Planta Pellets CMP 2014.
- Estudio de Evaluación de Riesgo en Salud por contaminación de plomo Planta de TECNOREC de reciclaje de baterías en San Antonio V Región.
- Estudio de evaluación de riesgo en salud por consumo de agua de nitratos y nitritos en el río Estrecho, Tercera Región.
- Estudio de evaluación de riesgo en salud por consumo de agua con sulfatos en el río Estrecho, Tercera Región.

➤ **Actividades Académicas**

Docencia:

- Salud Pública 1999 a la fecha. Ingeniería Ambiental – Ingeniería USACH.
- Seminario Bioestadística 2011-a la fecha. Ingeniería Estadística – Ciencias USACH.
- Bioestadística Segundo semestre 2013. Medicina – Medicina Universidad Autónoma Talca.
- Bioestadística 2011. Enfermería - Medicina USACH.
- Bioestadística 1998-2003. Obstetricia – Medicina USACH.
- Bioestadística 1995-1997. Medicina – Medicina USACH.
- Tutor técnico en Curso de Epidemiología en Gestión de Calidad y Seguridad del Paciente del MINSAL primero y segundo semestre 2011.

Miembro de comisión Examinadora de Tesis de Doctorado:

Alumnos	Doctorado	Año
Yuri Carvajal B	Salud Pública U de Chile	2010-2011

Memorias dirigidas como Profesor responsable conducentes a Grado o Título

- Raúl Díaz Luna y Cristián Retamal 2001. Diagnóstico de riesgos en salud asociados a la calidad de la vivienda para la comuna de San Fernando. Título Ingeniero en ejecución en Ambiente USACH.
- Elizabeth Salinas y Daniela Rodríguez 2005. Análisis espacial del riesgo de hepatitis A en Chile. Título Ingeniero en ejecución en Ambiente USACH.
- Carolina Pérez Pastene 2006. Análisis espacial y temporal del riesgo de muerte por cáncer cervicouterino en Chile 1990-2004. Título Ingeniero en ejecución en Ambiente USACH.
- Solange Saldías y Mabel Gutiérrez 2007. Asignación óptima de camas UTI neonatológicas a partir de la construcción de modelos explicativos de mortalidad neonatal. Título de Ingeniero Geográfico USACH.

- Miguel Méndez Cordero 2007. Elaboración de una herramienta de auditoría para la evaluación del programa de higiene industrial y salud ocupacional. Caso de Compañía Minera Maricunga. Título Ingeniero en ejecución en Ambiente USACH.
- Alex Flores P y María José Bravo M 2008. Análisis de la distribución espacial de hospitalizaciones sensibles al cuidado ambulatorio y condiciones sensibles a la referencia. Título de Ingeniero Geográfico USACH.
- Loreto Molina C e Ivonne Quintana Barrera 2008. Simulación de una epidemia de gripe aviar en humanos aplicando medidas de contención en la ciudad de Talca. Título de Ingeniero Geográfico USACH.
- Francisco Aguirre 2010. Análisis de riesgo por exposición a arsénico procedente de procesos industriales ubicados en la Bahía de Quinteros, mediante un modelo de dispersión. Título de Ingeniero Geográfico USACH.
- Carmen Gloria Pérez 2012. Los brotes de virus respiratorios ¿Modifican el efecto a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud? Título Ingeniero en ejecución en Ambiente USACH.
- Tamara Alarcón y Bárbara Meyer 2013. Estimación del impacto atribuible a infecciones asociadas a la atención de salud en Unidades de Cuidado Intensivo Adulto en dos hospitales de la Región Metropolitana. Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- Mario Nicolás García 2013. Dinámica temporo-espacial del síndrome cardiopulmonar por hantavirus en el sur de Chile. Título de Ingeniero Geográfico USACH
- Nicolás Montecinos 2014: Implicancias de la forma de la Tasa Instantánea de Falla en la vigilancia de las infecciones asociadas a la atención de salud en una Unidad de Cuidados Intensivos Adulto de un hospital de la Región Metropolitana Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- Angello González y Samantha Rubio 2014: Indicadores de Funcionalidad: ¿Deben ser considerados al momento de decidir el ingreso de un enfermo a una Unidad de Paciente Crítico? Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- César Maripanguí 2014: Indicadores Biomédicos en la gestión de episodios críticos de contaminación del aire atmosférico en Santiago: una aproximación conceptual y empírica. Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- Valeria Espinoza 2014: Uso de cartas de control en vigilancia de infecciones asociadas a la atención en salud: evaluación para el caso de tres síndromes clínicos en dos hospitales de la Región Metropolitana. Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- 16.-Sebastián Carrasco 2014: Uso de la Regresión Cuantílica en Epidemiología. Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- 17.-Catalina Méndez 2014: Mortalidad y Morbilidad cardiovascular como consecuencia del Megaterremoto del 27 de Febrero del 2010, en el área centro-sur de Chile. Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- Jonathan Muñoz 2014: Uso de herramientas estadísticas para la comparación del desempeño de establecimientos de salud. Título de Ingeniero Estadístico USACH.
- Francisco Farías 2015: Impacto del momento de la intervención en la estadía hospitalaria: estudio en algunos GRD seleccionados. Título de Ingeniero Estadístico USACH
- Erick Valenzuela 2015: Análisis de la demanda y estimación del stock de sangre en el Hospital de Urgencia Asistencia Pública de la región Metropolitana. Título de Ingeniero Estadístico USACH
- Fabio Paredes 2015: Evaluación de Riesgos por Material Particulado en comuna de Andacollo. Título de Ingeniero Estadístico USACH

➤ **Proyectos de Investigación**

Proyectos aprobados fondos concursables

Número	Año	Título	Relación
Fonis SA11i2231	2011	Estimación de los costos atribuibles a infecciones asociadas a la atención de salud en Unidades de Cuidado Intensivo Adulto en tres hospitales de la Región Metropolitana	Investigador principal
Fondecyt 1100414	2010	THE AMPLIFICATION OF THE EFFECT OF FETAL IMPAIRMENT ON CARDIOVASCULAR RISKS IN A FOLLOW UP OF YOUNG ADULTS: THE LIMACHE COHORT.	Research assistant
FONIS SA05I20067	2008	Tendencias de la incidencia y sobrevida de los principales sub-tipos de cáncer uterino, Chile 1995 – 2004: una aproximación a la creación de un registro nacional de citologías e histologías.	COLABORADOR
Dicyt USACH	2005	Evaluación de la heterogeneidad espacial del efecto de la contaminación a nivel de comunas del Gran Santiago	COINVESTIGADOR
Fondecyt 1970686	1997	EVALUACION DEL IMPACTO DE LAS CONDICIONES METEREOLÓGICAS SOBRE LA MORTALIDAD DIARIA EN CHILE	COINVESTIGADOR
Fondecyt 1950327	1995	MODELO MULTIVARIADO PARA PREDECIR MORTALIDAD DIARIA EN SANTIAGO. POR CONTAMINACION DEL AIRE Y VARIABLES METEOROLÓGICAS	COINVESTIGADOR

➤ **Participación docente en actividades de extensión y divulgación**

Institución	Actividades de docencia
HUAP	Curso: Uso de herramientas estadísticas simples en la vigilancia y control de la calidad 2009
Sociedad Chilena de Infecciones Intra-hospitalarias y epidemiología hospitalaria	Curso: Herramientas estadísticas para la vigilancia epidemiológica de las IIH 2010
Sociedad Chilena de Control de Infecciones Intra-hospitalarias y epidemiología hospitalaria	Presentación sobre usos del cobre en control de infecciones en el Congreso de Control de Infecciones Intra-hospitalarias y epidemiología hospitalaria Viña del Mar 2011
Sociedad Chilena de Infecciones Intra-hospitalarias y epidemiología hospitalaria	Participación como docente en Decenal de Infecciones Asociadas a la Atención de Salud Santiago Abril 2013: Debate ¿Es posible la tasa cero en ITS asociado a CVC en Chile?

➤ **Publicaciones Revistas Indexadas**

Se entiende como aquellas que circulan ampliamente más allá del país de edición y que tengan comité editorial.

- Hugo Amigo¹, Patricia Bustos², Claudio Vargas², Pablo Iglesias³ Variación secular de los nacimientos, peso y longitud al nacer: perspectiva local. Revista Chilena de Pediatría. Aceptado para publicación Marzo 2015.
- Bustos P, Amigo H, Vásquez A, Vargas C. Evolución del síndrome metabólico y de sus componentes en un seguimiento de 10 años en adultos de la Región de Valparaíso. Rev Méd Chile 2014;142:579-86.
- Jimenez-Cohl P, Grekin C, Leyton C, Vargas C, Villaseca R. Thermal threshold: research study on small fiber dysfunction in distal diabetic polyneuropathy. J Diabetes Sci Technol. 2012;6(1):177-83.
- Bannura G, Vargas C, Barrera A, Melo C, Contreras J. Índice ganglionar y número de linfonodos metastásicos como factores pronósticos en cáncer de colon. Rev Chilena de Cirugía 2011; 63:485-92.
- Sanhueza P, Pizarro J, Vargas C, Torreblanca M, Passalacqua M. Health risk estimation due to carbon monoxide pollution at different spatial levels in Santiago, Chile. Environ Monit Assess. 2010;167(1-4):165-73.
- Bustos P, Muñoz S, Vargas C, Amigo H, Poverty and indigenous origin as a risk factors of nutritional problems among children who enrol in school Salud Pública de México, 2009; 51:187-193.
- Bustos P, Muñoz S, Vargas C, Amigo H. Evolution of the nutritional situation of indigenous and non-indigenous Chilean schoolchildren. Annals of Human Biology 2009; 36:298-307.
- Rona R, Vargas C, Vianna E, Bustos P, Bettiol H, Amigo H, Mackenney J, Barbieri M.A Impact of specific sensitization on asthma and rhinitis in young Brazilian and Chilean adults. Clinical and Experimental Allergy 2008; 38: 1778 – 86.
- Vargas C, Bustos P, Diaz PV, Amigo H, Rona RJ. Childhood environment and atopic conditions, with emphasis on asthma in a Chilean agricultural area. J Asthma. 2008; 45:73-8.
- Rona RJ, Smeeton NC, Amigo H, Vargas C. Do psychological distress and somatization contribute to misattribution of asthma? A Chilean study. Journal of Psychosomatic Research 2007; 62: 23-30.
- Sanhueza P, Vargas C, Mellado P. Impacto de la contaminación atmosférica por material particulado fino (PM10) en la mortalidad diaria en Temuco, Chile. Rev. Med. Chil. 2006; Jun; 134(6):754-61.
- Rona J, Smeton N, Vargas C, Bustos P, Amigo H. Untreated asthma, height and sitting height/leg length ratio in Chile. Respiratory Medicine. 2005: 100; 911-17
- Amigo H, Vargas C, Rona R. A feeling of well-being accompanied by a period of prosperity and birth weight in Chile: a possible link? Journal Pediatrics and Perinatal Epidemiology 2005, 2005; 19: 426-34.
- Vargas C, Bustos P, Amigo H, Rona R. Is atopy, Rinitis and asthma Symptoms associated with Hygiene Conditions in young population of Chile? ERS, Glasgow Eur Respir J 2004; 24:3126.

➤ Ponencias Congresos

2004

- A feeling of well-being accompanied by a period of prosperity and birth weight in Chile: A possible link?
Amigo H, Vargas C, Rona RJ.
X International Congress of Auxology
Florenca, Italia, July 4-7 2004

- Is Atopy, Rhinitis and Asthma Symptoms associated with Hygiene Conditions in young population of Chile?
Vargas C, Bustos P, Amigo H, Rona R.
ERS, Glasgow Eur Respir J 2004; 24 (Suppl. 48), P3126.
- 2007
- Evolución de estado nutricional de escolares chilenos de primeros básico según etnia
Bustos P, Amigo H, Muñoz S, Vargas C.
XLVI Congreso Chileno de Pediatría
Antofagasta, 21 al 24 de Noviembre 2007.
- 2009
- Vargas C, Julia Jadue M, EU Dolores Calleja R USO DE CARTAS DE CONTROL EN LA VIGILANCIA DE INFECCIONES INTRA-HOSPITALARIAS, EN EL HOSPITAL DE URGENCIA ASISTENCIA PÚBLICA (HUAP) presentado en jornadas de la SOCHE Octubre 2009
 - Luciano González J, Jorge Varas G, Vargas C, Roberto Moreno E, Mauricio Ramos G, Mariana Varas R, Renato Chacón A, Marcelo Concha I, Francisco Riquelme E, Fernando Reyes M, Juan Rivera F. Estudio Retrospectivo y Comparativo de la Era Acido Tranexámico v/s Era Aprotinina: ¿Hay diferencias en el sangrado y Antifibrólisis en Cirugía de la Disección Aórtica presentado en el XXXVII CONGRESO CHILENO DE ANESTESIOLOGÍA Noviembre 2009
 - H Bosch, Vargas C, R Díaz. Hernia incisional complicada, uso de malla y complicaciones. Presentado en LXXXII Congreso Chileno e Internacional de Cirugía.
- 2010
- Vargas C, Julia Jadue. Uso de gráficos de embudo en la comparación de tasas de Infección Intra-Hospitalaria entre diferentes hospitales. Presentado en las X Jornadas Nacionales de Bioestadística. Enero 2010.
 - Vargas C, Pablo Vergara, Nicolás García. Temporo-spatial dynamic of hantavirus infections in the south of Chile: The importance of interaction between human populations and native forest. Presentado en las X Jornadas Nacionales de Bioestadística. Enero 2010.
 - Milka Vescovi, Vargas C, Francisco Torres y José Romeo: Estimación del impacto de la influenza estacional en la mortalidad de la Región Metropolitana Chile 2000-2007. Presentado en las X Jornadas Nacionales de Bioestadística. Enero 2010.
 - María Jose Toloza, Vargas C, José Romeo y Francisco Torres: Estudio del impacto del paro de los funcionarios no médicos del año 2006 en la mortalidad de la Región Metropolitana, presentada en la X Jornadas Nacionales de Bioestadística, Enero 2010.
 - Vargas C y Soledad Ubilla F: Tendencia en hospitalizaciones por condiciones sensibles a la atención ambulatoria en el HUAP. Presentado en II Congreso Chileno de Salud Pública, Noviembre 2010.
- 2011
- Vargas C y José Romeo: La forma de la tasa instantánea de falla: implicancias en la vigilancia de las infecciones intrahospitalarias. Presentado en las XI Jornadas Nacionales de Bioestadística Talca Enero 2011.
 - Vargas Claudio, Perret Cecilia, Vescovi Milka, Torres Francisco, Romeo José, Valenzuela Patricia, Hirsch Tamara, Abarca Katia, Camponovo Rossanna, Vial Pablo, Wilhelm Jan y Ferrés Marcela: Impacto de la influenza en la mortalidad por causa respiratoria y cardiovascular en el Gran Santiago 2000-2009: una estimación usando un modelo estadístico. Presentado en el XXVIII Congreso de la SOCHINF
- 2012

- Vargas C y Pérez Carmen Gloria. Modificación del efecto de la contaminación del aire sobre la mortalidad diaria en el Gran Santiago por la circulación de virus influenza. Presentado en las XII Jornadas Nacionales de Bioestadística Santiago Enero 2012.
- Vargas C y Pérez Carmen Gloria: Los brotes estacionales de influenza ¿modifican el efecto sobre la mortalidad de la exposición aguda a contaminantes atmosféricos? Presentado en el XXIX Congreso de la SOCHINF.
- Vargas C, Herrera C, Seguel A: Uso de regresión Joinpoint para estimar tendencias y quiebres de tendencias en vigilancia de IAAS Presentado en el XXIX Congreso de la SOCHINF.
- Herrera C, Seguel A, Vargas C, Beltrán C: Caracterización epidemiológica/molecular y control de brote de Clostridium difficile en HUAP (Posta Central) Presentado en el XXIX Congreso de la SOCHINF.
- Argandoña M, Carrillo J, Vargas C, Egea C, Mistretta D, Mascareño M, Bastías I. Habitual snoring and its association with acute coronary syndrome: a study based on National Health Survey 2009-2010, Ministry of Health , Chile. Presentado en el XXXI World Congress of Internal Medicine. Santiago noviembre 2012.
- Carrillo J, Vargas C, Argandoña M, Bastías I. Sleep disordered breathing and its association with metabolic syndrome: a study based on National Health Survey 2009-2010, Ministry of Health , Chile. Presentado en el XXXI World Congress of Internal Medicine. Santiago noviembre 2012.
- Carrillo J y Vargas C: Prevalencia de alto riesgo de síndrome de apnea obstructiva del sueño en población adulta. Presentado en las XXX Jornadas Chilenas de Salud Pública, Santiago noviembre 2012.
- Bosch H , Vargas C: Priorizando lista de espera según urgencia en hernia incisional. Presentado en 83 Congreso Argentino de Cirugía Noviembre 2012.
- Bosch H, Vargas C: Malla en hernia umbilical complicada. Presentado en 83 Congreso Argentino de Cirugía Noviembre 2012.
- Bosch H, Vargas C: Priorizando lista de espera según urgencia en hernia inguinocrural complicada. Presentado en 83 Congreso Argentino de Cirugía Noviembre 2012.

2013

- Claudio Vargas, Camila Rojas, Daniela Ojeda y Eliana Chacón : Factores de riesgo de infección de herida operatoria en cesárea: un estudio de casos y controles anidado en una cohorte. Presentado en las XIII Jornadas Nacionales de Bioestadística Concepción Enero 2013.
- Tamara Alarcón, Bárbara Meyer, Claudio Vargas y José Romeo: Estimación del impacto atribuible a infecciones asociadas a la atención de salud en Unidades de Cuidado Intensivo Adulto en dos hospitales de la Región Metropolitana.. Presentado en las XIII Jornadas Nacionales de Bioestadística Concepción Enero 2013.
- Angelo González, Samantha Rubio, Claudio Vargas y Hugo Bosch: Modos para resolver el problema de la separación en la regresión logística a propósito de un estudio de factores de riesgo de infección en cirugía de hernia complicada. Presentado en las XIII Jornadas Nacionales de Bioestadística Concepción Enero 2013.
- Rodrigo Leyton, Catalina Araya y Claudio Vargas: Factores de riesgo de peritonitis apendicular: un análisis usando un modelo de regresión logística multinivel. Presentado en las XIII Jornadas Nacionales de Bioestadística Concepción Enero 2013.
- César Maripanguí, Francisco Castro, Sebastián Carrasco, Claudio Vargas y Tania Herrera: Incidencia de la TBC en Chile 1999-2011. Análisis Edad-Cohorte-Período Presentado en las XIII Jornadas Nacionales de Bioestadística Concepción Enero 2013.

2014

- Claudio Vargas, Nicolás Montecinos, Carolina Herrera, Ana Seguel y Karen Ulloa: Cambios paradójicos en las tasas de incidencia de IAAS después de intervenciones que disminuyen

los tiempos de exposición a invasivos. Presentado en III Congreso Chileno de Salud Pública y V Congreso Chileno de Epidemiología, Santiago Julio 2014.

- Claudio Vargas, César Maripangui, Cecilia Perret y Marcela Ferrés: Los brotes estacionales de VRS ¿Modifican el efecto de la contaminación sobre las hospitalizaciones en menores de un año? Presentado en III Congreso Chileno de Salud Pública y V Congreso Chileno de Epidemiología, Santiago Julio 2014.

➤ **Educación**

Diploma en Evaluaciones Económicas en Salud, Pontificia Universidad Católica de Chile 2010.

Cursos del Magíster en Infecciones Intrahospitalarias y Epidemiología hospitalaria, Universidad de Valparaíso 2007-2008.

Egresado Magister en Filosofía de las Ciencias, Universidad de Santiago de Chile 1996-2003.

Postítulo en Estadística Aplicada Universidad de Santiago de Chile, 1993-1994.

Medicina Interna Universidad de Concepción 1986-1989.

Médico Cirujano Universidad de Chile, 1978-1985.

**Minuta Técnica de Evaluación de Riesgos
a la Salud de la Población en el Marco del
Procedimiento Sancionatorio A-002-2013”
de la División de Fiscalización y Sanción
– SMA**

**Análisis sobre los riesgos a
la salud por ingesta del agua
de Río Del Estrecho
Proyecto Pascua Lama
Región de Atacama, Chile**

Abril, 2016

Preparado por: Dra. Soledad Ubilla F y Dr. Claudio
Vargas R.
Gestión Ambiental Consultores S.A
Padre Mariano 103 Of. 307
7500499, Providencia, Chile
Fono: +56 2 2719 5600
Fax: +56 2 2235 1100
www.gac.cl

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA CONFIRMAR CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	12
3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	15
4. EVALUACIÓN DEL RIESGO EN SALUD.....	16
4.1. Identificación de peligros.....	17
4.1.1 Antecedentes generales de las sustancias relevantes para la salud.....	18
4.1.2 Efectos en la salud por consumo de las sustancias relevantes para la salud.....	19
4.1.3 Antecedentes generales relativos a la aceptabilidad del agua para consumo humano.....	24
4.2. Evaluación de la dosis-respuesta.....	27
4.3. Evaluación de la exposición.....	33
4.3.1 Ruta de exposición.....	33
4.3.1.1 Fuente contaminante.....	33
4.3.1.2 El mecanismo de salida o liberación del contaminante.....	34
4.3.1.3 Medios para que se desplace el contaminante.....	34
4.3.1.4 El punto de exposición o lugar específico en el cual la población entra en contacto con el agua del Río Estrecho.....	35
4.3.1.5 Vía de exposición.....	35
4.3.1.6 La población receptora.....	35
4.3.2 Dosis de exposición.....	43
4.4. Caracterización del riesgo.....	46
4.4.1.1 Aluminio.....	47
4.4.1.2 Hierro.....	48
4.4.1.3 Manganeso.....	49
4.4.2 Efectos cancerígenos de los parámetros estudiados.....	50
5. CONCLUSIONES.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0-1: Recomendaciones de ingesta adecuada de agua en niños de 0 a 18 años, emitida por el Instituto de Medicina de Estados Unidos (IOM).....	8
Tabla 3-1: Elementos esenciales NCh 409/1.....	13
Tabla 3-2: Elementos no esenciales NCh 409/1.....	14
Tabla 3-3: Parámetros relativos a características organolépticas Tabla 7 NCh 409/1.....	14
Tabla 4-1: Concentraciones (mg/l) empleadas para el cálculo de dosis de exposición en NE-8, para cada una de las sub-series de tiempo analizadas, en agua del Río del Estrecho.....	16
Tabla 5-1: Valores de referencia para ingesta de sustancias químicas de interés.....	30
Tabla 5-2: Valores de referencia utilizados para las concentraciones de los parámetros en el agua.....	31

Tabla 5-3: Valores de referencia para ingesta según análisis de carcinogenicidad	32
Tabla 5-4: Población de Chollay 2011 (Censo 2002).....	36
Tabla 5-5: Población de Chollay y de fuera de Chollay.....	36
Tabla 5-6: Población de la comuna Alto del Carmen (proyección INE 2015)	37
Tabla 5-7: Población de la localidad Chollay (proyección INE 2015).....	37
Tabla 1-1: Recomendaciones de ingesta adecuada de agua en niños de 0 a 18 años, emitida por el Instituto de Medicina de Estados Unidos (IOM)	41
Tabla 5-8: Situación de abastecimiento de agua para consumo humano en localidades Valle El Tránsito.....	42
Tabla 5-9: Períodos de duración de la exposición de la población utilizados para análisis del riesgo	44
Tabla 5-10: Concentraciones (mg/l) para cálculo de dosis de exposición en NE-8.....	45
Tabla 5-11: Dosis de exposición (mg/kg día) para la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8.....	45
Tabla 5-12: HQ para exposición a Aluminio de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8.....	47
Tabla 5-13: HQ para exposición a Hierro de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8.....	48
Tabla 5-14: HQ para exposición a Manganeso de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8.....	49
Tabla 5-15: Riesgo incremental de cáncer por exposición a Arsénico de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8 (Slope Factor)	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5-1: Modelo conceptual de la Evaluación del Riesgo en Salud	17
Figura 5-2: Efectos sobre la aceptabilidad del agua de consumo.....	25
Figura 5-3: Esquema de aportes que entrega el balance hídrico Río Del Estrecho/Chollay	34
Figura 5-4: Características del área de influencia Proyecto para la descarga en aguas superficiales.....	39

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe tiene un doble objetivo, comenta la evaluación de riesgos en salud que se realiza en el marco del proceso sancionatorio del Proyecto Pascua Lama utilizando como base la Minuta técnica de evaluación de riesgos en salud que se acompaña en el Memorándum de la División de Fiscalización de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) y luego realiza la evaluación de riesgos a la salud por ingesta del agua del Río Del Estrecho, haciéndose cargo de las observaciones realizadas al citado informe.

Es importante destacar la calidad del diseño del estudio realizado por la SMA, existe una adecuada caracterización del área de estudio y la definición de puntos de control (VIT-8 de la subcuenca del Río El Carmen y NE-9 para ampliar el área de influencia de la cuenca del Río del Estrecho). En lo más general, se utiliza adecuadamente las metodologías de evaluación de riesgo en salud, utilización del UCL95 para caracterizar las concentraciones representativas de los períodos analizados de las sustancias químicas de interés en los puntos de monitoreo (NE-8 y puntos de control) y se hace cargo adecuadamente de las incertidumbres de la evaluación de riesgo para este caso, señalando que la calidad del agua en el período pre proyecto, así como en la otra cuenca presenta niveles elevados de algunas de estas sustancias.

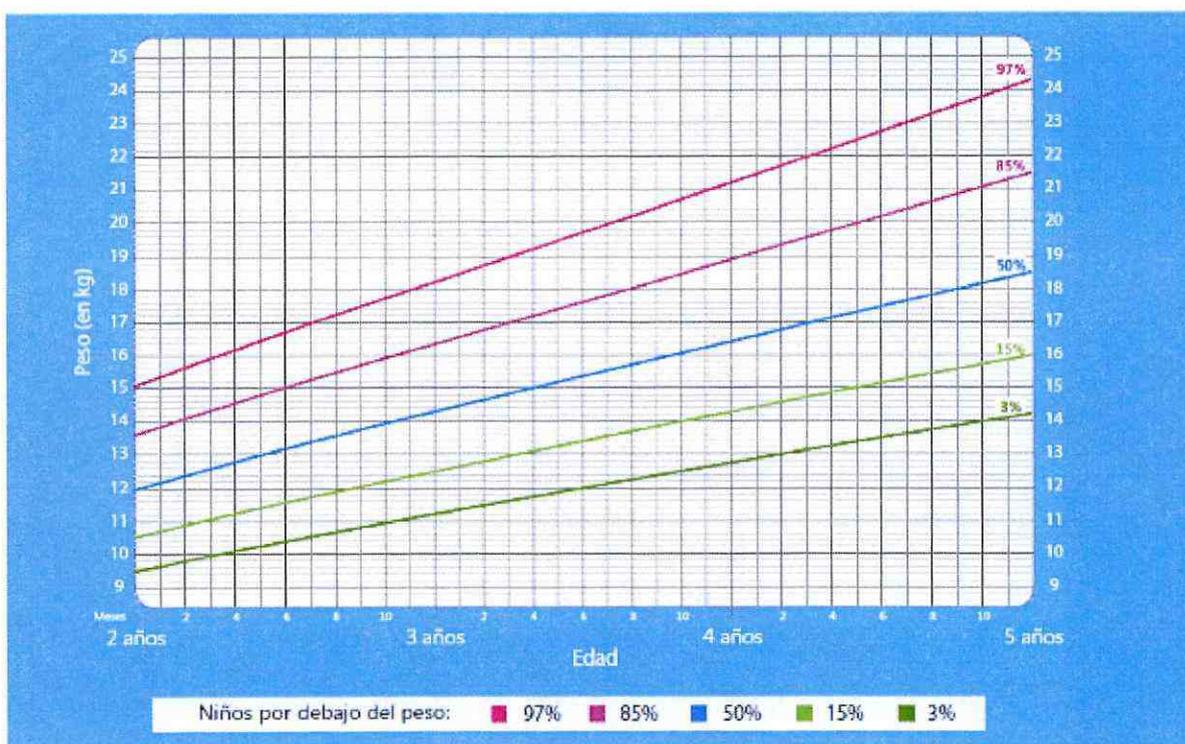
Sin embargo el estudio presenta algunos errores en el análisis que llevan a resultados equivocados respecto de la evaluación de riesgo de la población cercana al proyecto, que se detallan a continuación.

- a) El punto NE-8 fue seleccionado, argumentando que es el punto de captación de agua para consumo humano, basado en lo señalado en el EIA (realizado durante el año 2005), lo cual no corresponde a la realidad ya que este punto se ubica dentro de la propiedad de Barrick, y considerando el hecho que hoy el agua se extrae de un programa de agua potable rural (APR) que se encuentra aguas abajo de este punto, es por lo tanto poco probable que exista un grupo poblacional importante (todos los habitantes de Chollay) que consuman el agua en este lugar.
- b) Considerando la información contenida en el propio informe de la SMA que indica que gran parte de la población de Chollay tiene como fuente de abastecimiento del agua de consumo de APR (Agua Potable Rural) resulta poco probable que toda la población de Chollay pudiera estar expuesta al riesgo de salud informado en este estudio, que establece como supuesto que las personas adultas consumen 2 litros todos los días el agua directa del río Del Estrecho y los niños 1 litro de agua del río todos los días en un punto cercano a NE-8.

- c) La definición de exposición crónica, subcrónica y aguda, no coincide con la recomendación ATSDR, EPA y OMS que define exposición crónica a toda exposición sostenida por un año y más, subcrónica a una exposición sostenida entre 15 días y un año y aguda a toda exposición por menos de 15 días. La definición utilizada para caracterizar un efecto crónico (entre un 10% y el 100% del tiempo total de vida del individuo) encuentra su principal dificultad al aplicarla a lactantes y niños menores ya que en un menor de un año no es posible hablar de exposición crónica y si se aplica el criterio del 10% del tiempo de vida se podría hablar de exposición crónica solamente en niños mayores de 10 años, todo lo cual debiera invalidar el análisis realizado para niños en que se asume un peso promedio de 14 kilos, lo cual es el peso promedio de niños de menor edad (3 años), como se observa en la tabla peso-edad en niños de la OMS que se presenta a continuación.

Niño: Peso según la edad

de 2 a 5 años (en percentiles)



- d) Para la estimación del riesgo del As en sus efectos cancerígenos, el estudio de la SMA, incurre en un error al estimar que las mayores concentraciones de As en el agua observadas durante el año 2012 se mantienen por los próximos 70 años de

vida de estas personas, lo cual no es correcto, ya que el supuesto de que se mantenga esa concentración de arsénico en el agua por los próximos 70 años evidentemente no constituye una condición de la realidad actual ni futura en el sector, tal como lo indican los mismos análisis de UCL95 para el As en el agua del punto NE-8 presentados en este estudio. Al aplicar este supuesto equivocado en su análisis del riesgo incremental de cáncer por esta exposición obtiene resultados sobreestimados.

- e) Otro error en que incurre el informe de evaluación de riesgo de la SMA es que para estimar el riesgo de efectos crónicos de Al, Fe y Mn para el período no activación del Plan de Alerta Temprana (PAT), se asume que la dosis de exposición de las personas sería la dosis observada en ese año (2012) proyectada por los 30 años siguientes (tiempo en que se estima el efecto crónico), lo cual no es correcto y nuevamente informa resultados sobreestimados.
- f) Por último, en el estudio de riesgo de la SMA se hace un uso equivocado del cálculo del Índice de Peligro Total (IPT), debido a que los efectos de las sustancias analizadas, los órganos que son potencialmente afectados y los mecanismos de acción de cada una de estas sustancias químicas analizadas son diferentes, por lo cual, siguiendo las orientaciones de la Guía Metodológica del SEA y las recomendaciones de la OMS, EPA y ATSDR, no es posible fundamentar que los efectos sean aditivos como lo señala el estudio de la SMA. La EPA¹ acepta el uso del Hazard Index (IPT), cuando los efectos de una mezcla de químicos de preocupación son razonablemente similares, es decir tienen el mismo modo de acción y/o generan los mismos efectos, sobre los mismos órganos blanco; o se trata de una misma sustancia química que puede ingresar al organismo por diferentes vías de exposición pudiendo sumarse sus efectos (p.e: arsénico que actúe por exposición a través de la ingesta de agua, de suelos contaminados, inhalatoria por contaminación del aire, contacto en la piel), condiciones que no se apliquen a la situación que se está evaluando. Por ello, la suma de los coeficientes de peligro (HQ), no es una metodología adecuada y lleva a conclusiones equivocadas.

En consideración de todo lo señalado, se ha realizado una nueva evaluación del riesgo en salud, basada en la metodología recomendada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), la cual esta validada por el Ministerio de Salud y que se utiliza en la evaluación de la SMA, ajustándose a las definiciones de períodos y concentraciones de las sustancias (UCL95 en el punto NE-8) utilizadas en el estudio realizado por la Superintendencia del

¹EPA Risk Characterization at <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/pdf/ch8.pdf>

Medio Ambiente (SMA) (Minuta técnica de evaluación de riesgos a la población, contenida en el Memorandum N°125/2016), pero corrigiendo los errores señalados previamente.

En este análisis de riesgo se asume un escenario hipotético, en donde las emisiones de la atmósfera, la ingesta de metales en alimentos, los sedimentos y la biota, se mantienen constantes y por lo tanto los posibles efectos en la salud sería atribuibles a cambios en la calidad del agua de beber tomada directamente del Río del Estrecho.

El marco de análisis considera los parámetros incluidos en la evaluación de riesgos en salud realizada por la SMA.

El análisis considera el comportamiento de los parámetros en los períodos de tiempo definidos por la SMA. Por lo anterior, se analiza el comportamiento de los parámetros en la calidad del agua de los siguientes períodos:

1. Línea base o período pre proyecto: se define desde que existen mediciones en calidad del agua hasta septiembre del 2009, ya que permite evaluar la calidad del agua superficial en base al comportamiento histórico del Río Del Estrecho.
2. Período pre infracción: considera el período comprendido entre octubre del 2009, fecha en la cual declara el inicio de la construcción de las obras del Proyecto, hasta enero del 2012.
3. Período de no activación del Plan de Alerta Temprana (PAT): que abarca los 12 meses móviles previos a los hechos que originan la autodenuncia ante la SMA por parte de CMN, y que es definido por la SMA entre febrero del 2012 hasta enero del 2013.
4. Período Post Infracción: desde febrero del 2013 hasta junio 2015, que da cuenta del monitoreo de calidad del agua del período posterior al cese de faenas del Proyecto.

Se ha definido como punto de análisis el punto NE-8, el cual constituye el punto de control de la Norma NCh 409/2005, para calidad de agua potable en el río Del Estrecho según el EIA, con la finalidad de mantener las condiciones para su comparación con la evaluación de riesgo de la SMA.

Al respecto cabe aclarar que dicha definición del punto se realiza en el EIA (durante el año 2005) y por tanto emplea información tomada del censo del año 2002. No obstante, la situación hoy en día es distinta, no sólo porque existe información que indica que la fuente de agua potable de la zona es de APR y camiones aljibes, sino también por cuanto hoy en día, el punto NE8 dada la situación descrita, no es un punto de captación de agua de consumo humano, por lo cual desde que el proyecto se pone en marcha, solo es posible que esporádicamente la población tome agua directamente del río, de modo que la exposición

real probablemente es mucho menor que el escenario que se presenta en este estudio de riesgo, así como en el informe preparado por la DFZ/SMA.

Para evaluar el riesgo a la salud, se realiza el análisis considerando lo siguiente:

1. Con la data de información sobre calidad del agua del punto NE.8, se verifica la evaluación de riesgo en salud realizada por la SMA, para los parámetros de preocupación identificados en ese estudio y para los mismos períodos.
2. Los criterios de referencia son los mismos que los señalados por la SMA, normativa chilena NCh 409, normativas internacionales de referencia (EPA, ATSDR, OMS), utilizando la metodología recomendada por la Guía de Evaluación de Riesgo en Salud publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), que se basa en la metodología EPA, corrigiendo los errores metodológicos de análisis que se detectaron en la evaluación de riesgo de la SMA previamente sistematizados.
3. En todos los casos se fundamenta la metodología utilizada para obtener los resultados que se presentan en este informe, incluyendo los argumentos por los cuales no es razonable utilizar el Índice de Peligro Total en este caso.

La evaluación de riesgo en salud se realiza utilizando supuestos que consideran condiciones de los escenarios más desfavorables de exposición posibles, de manera de dar garantías sobre la solidez de sus resultados. Los supuestos utilizados son:

1. Se asume que las personas localizadas en el área de influencia del Proyecto (Chollay) consumieron al menos 2 litros/día de agua del río para adultos para todos los parámetros. No se realiza el análisis en niños debido a que existe una gran variabilidad en el consumo de agua dependiendo de la edad y por lo tanto resulta difícil establecer un valor promedio. A continuación se presenta un cuadro de ingesta recomendada de agua para niños.

Tabla 0-1: Recomendaciones de ingesta adecuada de agua en niños de 0 a 18 años, emitida por el Instituto de Medicina de Estados Unidos (IOM)

	Consumo total de agua**	Agua obtenida del consumo de bebidas
Ambos sexos		
0 a 6 meses	0.7 L/día	-
7 a 12 meses	0.8 L/día	-
1 a 3 años	1.1 L/día	0.9 L/día
4 a 8 años	1.7 L/día	1.2 L/día
Niños		
9 a 13 años	2.4 L/día	1.8 L/día
14 a 18 años	3.3 L/día	2.6 L/día
Niñas		
9 a 13 años	2.1 L/día	1.6 L/día
14 a 18 años	2.3 L/día	1.8 L/día

* Incluye el agua contenida en los alimentos, la cual representa entre 24 y 29% del consumo de agua al día, de acuerdo con el grupo de edad.
 Fuente: Institute of Medicine, *Dietary Reference Intakes (DRIs) for water, potassium, sodium, chloride and sulfate*, 2005.

- Para definir las concentraciones a las cuales podría estar expuesta la población, considerando la variabilidad entre muestreos, se ha utilizado el límite superior del intervalo de confianza del 95% de la media (UCL 95), como lo recomienda la EPA (ProUCL versión 5.0), que es el mismo criterio utilizado por la SMA, a objeto de tener resultados comparables.

Para la evaluación de riesgo se realiza el análisis en base a las concentraciones de ingesta recomendadas como seguras por OMS y/o a las dosis de referencia (RfD) de la EPA. En ausencia de estos parámetros, se usan los niveles mínimos de riesgo (MRL) de ATSRD/CDC o los niveles de ingesta segura definidos por la JEFCA/FAO para evitar daños a la salud. Todos estos instrumentos de referencia, se basan en revisiones científicas, confiables, rigurosas, extensivas, y que son referentes para la gran mayoría de los países del mundo y son los criterios utilizados por la SMA en su evaluación de riesgo en salud (Ver Codex Alimentario FAO/JEFCA y la página web del IRIS Integrated Risk Information System).

Un aspecto que afecta la ingesta y que no se puede considerar en la evaluación del riesgo a la salud, porque está claramente demostrado que no genera ningún daño para la salud humana, son los efectos que ciertos parámetros producen sobre la aceptabilidad del agua. Estos parámetros son: pH, conductividad, color, olor, turbiedad. Cabe destacar que algunos parámetros químicos (hierro, aluminio y manganeso) presentan la condición de no aceptabilidad con concentraciones mucho menores que las concentraciones a partir de lo cual se podría ver un efecto sobre la salud, debido a lo cual, si la población cuenta con alguna alternativa de abastecimiento de agua de beber (Agua Potable Rural o Camiones Aljibe), es muy probable que se evite la ingesta del agua del río y con ello no se genere ningún riesgo para su salud.

La evaluación de riesgo considera la condición de exposición crónica (efectos frente a una exposición sostenida por un año y más), contemplando para ello un consumo de 2 litros de agua todos los días para los adultos en los períodos definidos por la SMA (pre proyecto o línea base, pre infracción, no activación PAT y post infracción).

En todos los períodos analizados, en general se concluye que se observa la superación de la norma de referencia, por tiempos acotados (durante los meses de enero) y parte del año 2012.

Para evaluar el riesgo en salud, se ha definido como población susceptible a la población de Chollay, que ajustada según las nuevas proyecciones del INE 2015 alcanza a 260 personas que constituye un número de personas mayor al estimado en el estudio de la SMA que no realiza este ajuste.

Los principales resultados de esta evaluación de riesgo señalan lo siguiente:

1. Para el Aluminio (Al): de acuerdo a la dosis de referencia recomendada por la ATSDR/CDC, para calidad del agua de consumo humano, se utiliza la recomendación de ingesta segura con un límite de 1 mg/kg peso-día, para una persona adulta con un peso promedio de 70 kilos. Las concentraciones de Aluminio (mg/l) monitoreadas en la estación NE-8, en el período de no activación de PAT (UCL 95) alcanza a 7,265 mg/l. Por lo cual **el coeficiente de peligro (HQ) de Al** para una persona que hubiese consumido 2 litros del agua del río durante todo ese período y que siguiera expuesta a las concentraciones (UCL95) de Aluminio del período post infraccional por los próximos 29 años sería de **0,10** manteniendo las mismas consideraciones señaladas por la SMA. Con estos resultados se puede concluir que no hay riesgo para la salud atribuible al aluminio debido a las concentraciones de Al en el agua del río en el período de no activación del PAT. Si bien en el período pre infracción el HQ es mayor **0,25** se puede concluir que no existe un riesgo para la salud debido a que las concentraciones en el agua del río son de 8,87 mg/L (UCL95).
2. Para el Arsénico (As): de la evaluación de riesgo respecto de efectos cancerígenos, utilizando la metodología del Slope Factor (Factor de Pendiente), se concluye que el riesgo incremental de cáncer a la piel a consecuencia de la ingesta de arsénico por consumo de 2 litros del agua del río todos los días del período de no activación PAT, es bajo ($1,41 \times 10^{-5}$). Adicionalmente, la estimación del riesgo incremental debido a la ingesta de arsénico del agua del río todos los días desde la puesta en marcha del proyecto (de octubre 2009 hasta la fecha) alcanza a un riesgo de $4,57 \times 10^{-5}$. Al respecto, el Programa Superfund de la EPA, establece un valor teórico de "una persona en un millón (10^{-6}) o menos que desarrolla el cáncer durante toda la vida", como un riesgo aceptable. Entre ese valor y una frecuencia de una persona en diez mil (10^{-4}) que desarrolle cáncer durante toda la vida, recomienda evaluar si es

necesario realizar acciones para reducir ese riesgo. En el caso en que el riesgo de cáncer exceda 10^{-4} , la EPA señala que se requiere llevar a cabo acciones remediadoras². Utilizando este criterio, se debiera evaluar si corresponde realizar alguna acción, para lo cual es indispensable avanzar en un diagnóstico más acabado de la situación de exposición al riesgo de la población, partiendo por determinar si hubo personas que tomaron el agua del río para su consumo todos los días durante los períodos señalados. Cabe recordar que de acuerdo a lo informado por la SMA, la mayoría de la población de Chollay obtiene el agua de beber de APR (Agua Potable Rural). Adicionalmente, la norma OMS aceptada por EPA y la norma chilena de As en agua potable, es de 0,01 mg/l, lo que equivale (usando el Slope Factor) a un riesgo aceptable socialmente de $4,28 \cdot 10^{-4}$ de cáncer de piel en 70 años sometido a las concentraciones máximas de As normadas en agua, por lo cual estos niveles de riesgo estimado en el hipotético caso en que las personas tomaran 2 litros de agua del río todos los días del período de no activación PAT, sería menor al riesgo aceptado por la norma.

3. En relación a la exposición al Hierro (Fe), cabe señalar que hay evidencia de efectos negativos a la salud solamente con elevadas concentraciones de hierro en el agua, las cuales están muy por sobre aquellas concentraciones que afectan la aceptabilidad del agua debido a cambios de color, sabor y turbiedad (0,3 mg/l). Sin perjuicio de lo anterior, la evaluación de riesgo medida a través del cociente de peligro (HQ), concluye que el nivel de riesgo en el período de no activación PAT es de **0,046**, valor que está muy por debajo del valor 1, a partir del cual sería posible poder observar algún riesgo a la salud atribuible a esta exposición. Por ello se concluye que para las personas adultas que hubieren ingerido todos los días del año 2 litros de agua del río, no existe un riesgo para la salud asociado a este parámetro.
4. En el caso del Manganeseo (Mn), se confirma que desde el período de línea base o pre-proyecto, las concentraciones de este parámetro superan la NCh409/2005. La evidencia indica que es posible observar algunos efectos sobre la salud en dosis de ingesta en agua de beber sobre 0,024 mg/kg-día³, por lo cual en base a estas dosis de referencia de la EPA, se concluye que el cociente de peligro (HQ) para el período de no activación PAT es de **1,573** y un HQ para el período pre-infraccional de **2,66**.

² La EPA utiliza este término en el marco del Superfund aplicable a sitios contaminados, pero en este caso puede aplicarse a llevar a cabo acciones tendientes a disminuir la exposición al riesgo para evitar que se generen efectos en la salud.

³ Basado en lo señalado por EPA RfD oral para ingesta en agua de beber:
<https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide-november-2015>

Esto implica que para las personas que hubieren ingerido 2 litros del agua del río todos los días durante ese período (febrero 2012 a enero 2013), sería posible observar un riesgo a la salud. Considerando que la EPA reporta que en ingesta por sobre los 10 mg/día no sería posible descartar efectos en la salud (NOAEL), las concentraciones de Manganeso en el agua del río (UCL 95) a las que pudo estar expuesta una persona que tomó 2 litros diarios de agua del río, alcanzarían un consumo de 4,27 (período no activación PAT) a 4,46 (pre-infracional) mg de Mn/día, por lo se puede concluir que aún existe un margen para alcanzar el límite (NOAEL), a partir del cual se podría observar algún efecto sobre la salud debido a esta causa. Adicionalmente podemos señalar que la evidencia de efectos negativos a la salud se presenta, respecto de manganeso, con concentraciones que están muy por sobre la concentraciones que afectan la aceptabilidad del agua para consumo humano (0,1 mg/l),

Respecto del análisis de riesgo, cabe recalcar que se ha realizado esta evaluación utilizando condiciones más desfavorables o “de borde” para calcular el riesgo en salud. Esto debido a que se ha estimado como riesgo de la población, el supuesto de que la ingesta de agua directamente del río Del Estrecho es de 2 litros diarios, todos los días del año, para una persona adulta. Considerando la información proporcionada por la SMA respecto del abastecimiento de agua potable, no estamos en condiciones afirmar que algún sector de la población cumpla con esta condición, y que la gran mayoría beba el agua potable rural o en su defecto se abastezca a través de los camiones aljibes.

Por todo lo anterior, es importante señalar que el riesgo informado en este análisis y también en el estudio de la SMA, está sobrevalorado en la medida que se hace sobre un escenario hipotético de consumo total de agua directamente del río Estrecho, y a pesar de ello, solamente se presenta un riesgo acotado para el Manganeso, sin que sea posible, con la evidencia científica disponible, atribuir algún efecto a la salud de importancia, como se ha señalado en este informe.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto del proceso sancionatorio que afecta a Barrick, la SMA decretó un término probatorio el 17 de diciembre del 2015 (de 20 días hábiles), para presentar antecedentes en relación con los hechos o puntos de prueba que definió en Resolución 1191/2015. Entre los puntos de prueba fijados, el N°3 señala:

“Efectividad de haberse generados riesgo a la salud de la población, de conformidad al artículo 40 literal b) de la LOSMA, como consecuencia de las infracciones contenidas en el ORD U.I.P.S N° 58, relacionadas con el Sistema de Manejo de Aguas de Contacto y de No Contacto”.

En relación con este punto de prueba, la SMA decretó las siguientes diligencias:

1. Inspección personal a la faena minera Pascua Lama, y
2. Solicita a la División de Fiscalización de la SMA que realice una evaluación de riesgo a la salud de la población, para determinar la aplicación del literal b) del artículo 40 de la LOSMA (número de personas afectadas).

En este marco, Gestión Ambiental Consultores S.A. (GAC), realiza el análisis de la situación de riesgo en salud, basados en la metodología que ha utilizado la División de Fiscalización para el caso, según se describe en Memorandum N°125/2016 que adjunta Minuta Técnica de la Evaluación de Riesgos a la Salud preparada por esta División, pero corrigiendo algunos errores metodológicos que permiten obtener resultados más cercanos a la realidad.

El análisis de riesgo se realiza basado en los datos de la calidad del agua superficial del río Del Estrecho, y en la estación de monitoreo NE-8, que constituye la última estación aguas arriba del primer punto de posible contacto de la población con el agua proveniente del área del Proyecto y por ello, es el punto de mayor influencia de cualquier efecto sobre la calidad de las aguas superficiales.

2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA CONFIRMAR CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Para este estudio se ha utilizado la metodología de análisis utilizada por la SMA para determinar las sustancias químicas que pudieron superar los valores de referencia en el punto NE-8, durante el período de no activación de PAT.

Para la determinación de las sustancias químicas de riesgo potencial, la SMA analizó los datos de la serie de tiempo comprendida entre febrero de 2012 y enero de 2013, debido a que dicha serie de tiempo corresponde al periodo en el cual debió verificarse la activación del Plan de Alerta Temprana, por parte de la empresa.

Las concentraciones que se utilizan como representativas de cada período analizado corresponde al valor UCL 95, que es el “Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95% de la Media Aritmética” (UCL 95), es decir una concentración media calculada empleando el límite superior del promedio con un 95% de confianza.

De ese análisis la SMA selecciona para la evaluación de riesgos a la salud las siguientes sustancias químicas de riesgo potencial a: Arsénico (As), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn).

En cuanto a los valores de referencia, se ha utilizado la Norma Chilena Oficial de Agua Potable -NCh N°409-, la cual establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable asegurando su inocuidad y aptitud para el consumo humano, incluyendo una serie de parámetros de importancia para salud.

El valor umbral corresponde a los valores definidos en la norma chilena NCh409/2005, que establece los parámetros de importancia para la salud del agua para consumo humano, que son los señalados en la Tabla 1 de dicha norma, definidos como “Elementos Esenciales” (Hierro y Manganeso) y la Tabla 2 “Elementos no Esenciales” (Arsénico), adicionalmente se agrega la Tabla 7 de la norma “Elementos que afectan las características organolépticas y que pueden afectar la aceptabilidad de la ingesta del agua”. Los límites máximos permitidos se presentan a continuación (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, Tabla 2-2, Tabla 2-3).

Tabla 2-1: Elementos esenciales NCh 409/1

Elemento	Expresado como elementos totales	Límite máximo mg/L
Cobre	Cu	2,0
Cromo total	Cr	0,05
Fluoruro	F ⁻	1,5
Hierro	Fe	0,3
Manganeso	Mn	0,1
Magnesio	Mg	125,0
Selenio	Se	0,01
Zinc	Zn	3,0

Tabla 2-2: Elementos no esenciales NCh 409/1

Elemento o sustancia	Expresado como elementos o sustancias totales	Limite máximo mg/L
Arsénico	<i>As</i>	0,01 ¹⁾
Cadmio	<i>Cd</i>	0,01
Cianuro	<i>CN⁻</i>	0,05
Mercurio	<i>Hg</i>	0,001
Nitrato	<i>NO₃⁻</i>	50
Nitrito	<i>NO₂⁻</i>	3
Razón nitrato + nitrito	<i>⁹)</i>	1
Plomo	<i>Pb</i>	0,05

Tabla 2-3: Parámetros relativos a características organolépticas Tabla 7 NCh 409/1

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo
Físicos: Color verdadero Olor Sabor	- - -	Unidad Pt-Co - -	20 inodora insipida
Inorgánicos: Amoníaco	<i>NH₃</i>	mg/L	1,5
Cloruro	<i>Cl⁻</i>	mg/l	400 ¹⁾
pH	-	-	6,5 < pH < 8,5
Sulfato	<i>SO₄⁻²</i>	mg/L	500 ¹⁾
Sólidos disueltos totales	-	mg/L	1 500
Orgánicos: Compuestos fenólicos	Fenol	µg/L	2
1) La Autoridad Competente, de acuerdo con las instrucciones impartidas por el Ministerio de Salud, podrá autorizar valores superiores a los límites máximos señalados en esta tabla, conforme a la reglamentación sanitaria vigente.			

Para el caso de evaluar el riesgo para la salud, los parámetros pH, conductividad y turbiedad, solamente pueden ser analizados en tanto puedan afectar la aceptabilidad de la ingesta del agua, siguiendo las directrices internacionales de la OMS y la EPA para su análisis, ya que no existe ninguna evidencia de riesgo específico a la salud asociado a ellos.

Para el caso de Aluminio considerando que no existe norma chilena para establecer el límite máximo de ingesta aceptable, se utiliza la recomendación de la ATSDR y OMS respecto a dosis de ingesta segura (1 mg/kg de peso al día).

Los tiempos de análisis de la exposición que se han definido se ajustan a los períodos definidos en el Estudio de Riesgo de la DFZ/SMA, con la finalidad de hacer comparables los resultados:

1. Línea base o pre proyecto: que se define desde que hay resultados de mediciones en calidad del agua en el punto NE-8 hasta septiembre del 2009.
2. Ejecución proyecto pre infracción: que considera el período comprendido entre octubre del 2009 hasta enero del 2012,
3. Período de no activación del PAT: desde febrero 2012 hasta enero del 2013, y
4. Período post infracción: desde febrero del 2013 en adelante.

La unidad en que se expresa la magnitud de la exposición está relacionada con la ruta de exposición y el tipo de contaminantes que se analizan en el presente estudio, por lo cual las sustancias estudiadas se expresan en mg/kg de peso-día, teniendo como patrón de referencia una persona adulta que pesa 70 kg.

La dosis de ingesta de estas sustancias por la vía del agua de consumo humano se estima asumiendo una ingesta diaria de 2 litros de agua por día en los adultos.

Para establecer las concentraciones a las cuales pudo estar expuesta la población, se asume que ingieren solamente agua obtenida directamente del Río del Estrecho y no, como se ha detectado según la información entregada por la propia SMA, consuman el agua proveniente de APR (Agua Potable Rural) cuyas fuentes son aguas de napas subterráneas.

3. ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

A continuación se presenta el análisis de la evolución de la calidad del agua en los períodos de interés señalados por la SMA, utilizando los mismos criterios y metodologías empleadas en este informe para calcular las dosis de exposición a las sustancias: aluminio, arsénico, hierro y manganeso; verificando el mismo comportamiento de las variables estudiadas en los períodos de línea base o pre proyecto, pre infraccional, no activación PAT y post infraccional.

El cuadro siguiente resume el comportamiento de las concentraciones de estas sustancias en el agua del Río del Estrecho en el punto de medición NE-8 que será utilizado para la evaluación del riesgo en salud.

Tabla 3-1: Concentraciones (mg/l) empleadas para el cálculo de dosis de exposición en NE-8, para cada una de las sub-serie de tiempo analizadas, en agua del Río del Estrecho

Sustancia Química	Valor Referencia (mg/L) *	Serie Pre Proyecto (1997 a sept.2009) mg/L	Serie Pre Infracción (oct. 2009 a ene.2012) mg/L	Serie No Activación PAT (feb.2012 a ene.2013) mg/L	Serie Post Infracción (feb.2013 a jun.2015) mg/L
		UCL 95	UCL 95	UCL 95	UCL 95
Aluminio	0,9	4,692	8,868	7,265	3,649
Arsénico	0,01	0,003	0,018	0,023	0,004
Hierro	0,3	0,883	3,862	5,497	0,967
Manganeso	0,1	0,838	2,232	2,135	1,293

Nota: los valores de referencia para Al (norma OMS), As (NCh 409/2005 y norma OMS), Hierro (NCh 409/2005) y Manganeso (NCh 409/2005)

De acuerdo a los antecedentes revisados, de los monitoreos realizados en el punto NE-8 que constituye el primer punto aguas arriba del contacto con la población desde el Proyecto, se observa que desde el período de línea base se presentan incrementos importantes en las concentraciones de algunos parámetros en el mes de enero a consecuencia de los deshielos que arrastran el sedimento del río.

Esta situación continúa manifestándose durante los años de la construcción de las obras del proyecto Pascua Lama, observándose un incremento más extendido el año 2012, en que para estos parámetros se constata un incremento que corresponde al período definido por la SMA "Serie no activación del PAT".

El aluminio y hierro superan en periodos acotados el límite de NCh 409/2005, por lo cual desde la perspectiva de riesgo en salud, solamente podrían observarse efectos agudos (dos semanas) o subcrónicos (hasta un año), sin embargo, en la perspectiva de hacer un esfuerzo para homologar el presente análisis al estudio de la SMA, se incluye la evaluación de riesgo por exposición crónica para todos los períodos previamente señalados.

En el caso de manganeso, se presenta la superación de la norma de manera sostenida desde la línea base, presentando el mismo perfil de incrementos acotados por sobre las concentraciones habituales, por lo cual se analiza el efecto crónico sobre la salud.

Para el caso del arsénico se considera el análisis por sus efectos cancerígenos, considerando el tiempo de exposición en que se supera la norma como el riesgo incremental aportado por el Proyecto, utilizando los períodos definidos en el estudio de la SMA.

4. EVALUACIÓN DEL RIESGO EN SALUD

A partir del análisis de calidad del agua, de los parámetros que superan norma y que presentan un comportamiento diferente antes-después del Proyecto, o que superan la norma

en alguno de los períodos propuestos en el análisis de la SMA, se realiza la evaluación del riesgo a la salud.

La evaluación de riesgo a la salud de las personas, utiliza la metodología recomendada en la Guía de Evaluación de Riesgo en Salud del SEA, la cual permite la caracterización de los efectos potencialmente adversos para la salud humana derivados de la exposición a determinados agentes ambientales, en este caso agentes que toman contacto con las personas a través de la ingesta de agua superficial proveniente del río Estrecho.

El modelo conceptual para llevar a cabo evaluaciones de riesgo, consta de cuatro etapas como se presenta en la figura siguiente (ver **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**), de manera similar a lo planteado por la SMA.

Figura 4-1: Metodología para la Evaluación del Riesgo en Salud



Figura 1: Etapas de la evaluación de riesgos ambientales
(Fuente: de Miguel E., 2003)

Fuente: Guía de evaluación de impacto ambiental Riesgo para la salud de la población, publicado por el SEA 2012.

4.1. Identificación de peligros

Se describen todos los posibles efectos adversos en salud que podrían potencialmente afectar a las personas. Estos peligros son resultado de la capacidad intrínseca de una sustancia de causar un efecto adverso en las personas y se obtiene de la revisión de la evidencia nacional e internacional aportada por investigaciones epidemiológicas, clínicas, toxicológicas y ambientales debidamente validadas por organismos internacionales competentes. En este caso se describen los daños a la salud de todas las sustancias contenidas en el agua superficial que son de interés para la salud de la población, definidas

por organismos internacionales (OMS, FAO, EPA, CDC entre otros): Aluminio, Arsénico, Hierro y Manganeseo.

4.1.1 Antecedentes generales de las sustancias relevantes para la salud

En este caso los parámetros que pudieran afectar la salud estarían dados por las concentraciones de ciertas sustancias químicas pertenecientes a los parámetros del Drenaje Ácido (DAR), en las aguas superficiales del Río del Estrecho, que superan el límite establecido en la NCh 409/2005 y que, al estar disueltas en el agua, sean ingeridos por las personas que beban agua del río. Las sustancias seleccionadas como relevantes para la salud, son las siguientes: Aluminio, arsénico, hierro y manganeso.

Adicionalmente en un capítulo diferente se analizan otros parámetros de preocupación para la comunidad, pero que, de acuerdo a la evidencia disponible a la fecha, no afectan la salud de las personas pero si pueden afectar la aceptabilidad del consumo de esta agua (pH, conductividad y turbiedad), conclusiones que son coincidentes con lo planteado por la SMA.

Para efectos de revisión de la evidencia disponible, se han seleccionado básicamente cuatro instrumentos de referencia, que se basan en revisiones científicas, confiables, rigurosas, extensivas, en profundidad y por períodos de tiempo razonables, que dan origen a las recomendaciones internacionales para la definición de límites máximos que permiten evitar un daño a la salud de las personas. Estas fuentes de referencia bibliográficas, constituyen referentes para la gran mayoría de los países del mundo, al entregar recomendaciones orientadas a asegurar una calidad del agua potable para consumo humano, que no solo evite efectos deletéreos en la salud, sino también aseguren la aceptabilidad del agua para su consumo. Las fuentes seleccionadas son :

1. EPA (Environmental Protection Agency) de USA que establece niveles máximos de concentraciones de diferentes sustancias para asegurar la calidad del agua de beber y dosis de referencia para la ingesta oral de sustancias químicas.
2. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Diseases Registry) dependiente del CDC (Control Disease Center) de USA, que provee las recomendaciones relativas a los Niveles Mínimos de Riesgo (Minimal Risk Levels MRLs), acordes a tiempos específicos de exposición (exposición aguda, intermedia y crónica).
3. OMS (Organización Mundial de la Salud), lo señalado en la Guía de Calidad de Agua de Beber más actualizada disponible a la fecha.
4. JECFA/FAO, Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios que periódicamente actualiza las dosis provisionales de ingesta diaria o semanal de ciertas sustancias que pueden generar riesgo para la salud.

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS, constituyen una herramienta válida referida a la calidad fisicoquímica del agua destinada al consumo humano. En general, a partir de ellas cada país (incluido Chile para arsénico) establece y actualiza sus propias normas. Los valores de referencia de cada parámetro contemplan no representar riesgos para la salud de las personas y en algunos casos adicionalmente asegurar la aceptabilidad estética del agua (hierro).

En lo que respecta al proceso de sanción de Barrick, cabe recordar lo señalado en la Guía de la OMS respecto de los riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua de consumo, que indican que estos se deben principalmente a la capacidad de producir efectos adversos sobre la salud tras periodos de exposición prolongados, reconociéndose que son muy pocas las situaciones y los componentes químicos del agua (arsénico) que podrían ocasionar problemas de salud como resultado de una exposición única o acotada en el tiempo, excepto en el caso de una contaminación masiva accidental de una fuente de agua de consumo humano, señalando además que, la experiencia demuestra que en muchos incidentes de este tipo, el agua se hace imbebible, por su gusto, olor o aspecto inaceptables, lo que evita el daño en salud.

4.1.2 Efectos en la salud por consumo de las sustancias relevantes para la salud

A continuación se resume la evidencia de daño en salud y niveles máximos recomendados en el agua para evitar efectos negativos en las personas debidos a su consumo.

Aluminio

El aluminio es el elemento metálico más abundante, se considera por la OMS "ubicuo en el medio ambiente" y constituye alrededor del 8% de la corteza terrestre. Es frecuente la utilización de sales de aluminio en el tratamiento del agua como coagulantes para reducir el color, la turbidez, y el contenido de materia orgánica y de microorganismos. La principal vía de exposición al aluminio de la población general es el consumo de alimentos (alimentos procesados principalmente), sobre todo de aquellos que contienen compuestos de aluminio utilizados como aditivos alimentarios. Una fuente muy importante de aporte de aluminio en algunas personas, proviene de medicinas, tales como antiácidos, analgésicos buffer, agentes antidiarreicos o medicamentos antiulcerosos.

La OMS al discutir la concentración de Aluminio para prevenir efectos en la salud (concentración máxima en el agua de consumo humano) para una exposición crónica, asume que el aporte del aluminio desde el agua representa entre un 20% a un 25% de la ingesta total y define que la concentración máxima de Aluminio en agua de consumo humano no sobrepase 1 mg/l, para una persona de 70 kilos que consuma 2 litros de agua al día. Este límite definido por la OMS está basado en la recomendación JEFCA/FAO, pero en la última revisión, este organismo aumentó la concentración de aluminio tolerable a 2 mg/kg de peso

para ingesta semanal, lo cual debiera suponer que la concentración de aluminio en el agua de beber podría llegar hasta 1,8 mg/l.

Se ha sugerido la hipótesis de que la exposición al aluminio es un factor de riesgo para el desarrollo o aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en el ser humano. La monografía de la OMS de 1997 sobre el aluminio de la serie Criterios de Salud Ambiental (CSA) concluye que:

En definitiva, la correlación positiva entre el aluminio del agua de consumo y la enfermedad de Alzheimer, detectada en varios estudios epidemiológicos, no se puede descartar totalmente. Sin embargo, persisten fuertes reservas acerca de que la relación sea causal debido a la falla de esos estudios para controlar factores confundentes ya demostrados y lograr estimar adecuadamente el aluminio total ingerido a partir de todas las fuentes.

Adicionalmente la ATSDR/EPA establece un valor de 1 mg de Aluminio/kg de peso al día para evitar efectos neurológicos⁴, los que podrían presentarse en exposición intermedia (personas expuestas a una dosis de aluminio determinada hasta por un período de un año).

Se reconocen los efectos beneficiosos del uso de aluminio como coagulante en el tratamiento del agua.

Considerando que el aluminio se utiliza para el tratamiento del agua potable y que las dosis a las que se podrían observar efectos a la salud son muy elevadas, finalmente la OMS no recomienda ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud, pero confirma una concentración de 0,2 mg/L en el agua de consumo como valor de compromiso entre la utilidad práctica del uso de sales de aluminio en el tratamiento del agua potable y el objetivo de evitar la coloración del agua distribuida, lo que afectaría su aceptabilidad.

Arsénico

La ingesta de arsénico inorgánico de manera aguda en altas dosis puede causar náuseas, vómitos, diarrea, efectos cardiovasculares y encefalopatía. La exposición oral crónica puede provocar efectos dermatológicos: hiperpigmentación e hiperqueratosis y neuropatía periférica (adormecimiento de manos y pies).

La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales de origen natural. A excepción de las personas expuestas al arsénico por motivos laborales, la vía de exposición más importante de arsénico es la vía oral, por el consumo de alimentos y agua. En ciertas regiones, las fuentes de agua de consumo, particularmente las aguas

⁴ Basado en NOAEL (no hay efecto en la salud) y LOAEL (mínimo nivel al cual se observa algún efecto en la salud) con un margen de seguridad 100 para evitar efectos neurológicos en el desarrollo de la descendencia de los ratones sometidos a estudios experimentales.

subterráneas, pueden contener concentraciones altas de arsénico. Existe evidencia de que en algunas zonas (Antofagasta p.e), el arsénico en el agua de consumo ha afectado la salud, y por ello a este elemento se le considera una sustancia a la que debe darse una prioridad en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo. El valor de referencia provisional establecido por OMS es de **0,01 mg/l**, para exposición crónica, que significa la concentración máxima en el agua de consumo para que no se generen efectos en la salud. El argumento entregado por la OMS en la guía, señala que se mantiene este valor mayor debido a las dificultades para remover las concentraciones de arsénico por debajo de 0,01 mg/l, especialmente en el caso de plantas pequeñas de potabilización (como los APR) y lo define como “provisional” argumentando que “en muchos países la remoción no es alcanzable”, por lo que insta a los países para que lleven a cabo todos los esfuerzos posibles para asegurar las menores concentraciones de arsénico en el agua⁵. Este argumento también lo recoge la EPA⁶, ya que mantiene la RfD mayor como la recomendación para el agua potable.

Adicionalmente la ATSDR⁷ establece concentraciones biológicas en individuos no expuestos que deben ser <1 µg/l en sangre; <100 µg/l en la orina y ≤ 1 ppm en las uñas y cabello. El DS 594 “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo” del MINSAL, establece que para la salud de los trabajadores se aceptan concentraciones de arsénico en orina de hasta 50 µg/gr de creatinina.

Hay evidencia, en estudios epidemiológicos, de que el consumo de cantidades elevadas de arsénico en el agua potable (por sobre el valor de referencia de la OMS), de manera crónica, es decir por muchos años⁸, está relacionado causalmente con el desarrollo de cáncer en varios órganos, en particular la piel, la vejiga y toda la vía respiratoria desde la boca hasta los pulmones. Dado que la reactividad y toxicidad del arsénico inorgánico trivalente son mayores que las del arsénico inorgánico pentavalente, se cree generalmente que la forma trivalente es la cancerígena. No obstante, sigue habiendo considerable incertidumbre y controversia tanto sobre el mecanismo de la acción cancerígena como sobre la forma de la curva de dosis-respuesta para ingestas bajas, siendo muy aplanada la fase inicial, por lo cual hasta se puede decir que es un carcinógeno “con umbral” a diferencia de la mayoría. La IARC clasifica los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo 1 o Grupo A de la EPA que los define como cancerígeno para el ser humano, basándose en la existencia de pruebas suficientes de su capacidad cancerígena en seres humanos y pruebas limitadas en animales.

⁵ Guidelines for drinking-water quality. OMS fourth edition, 2011.

⁶ Arsenic in Drinking Water. EPA water.epa.gov/lowsregs/rulesregs/sdwa/arsenic/index.cfm

⁷ ToxGuideTM for Arsenic As CAS# 7440-38-2 October 2007

⁸ De 1 a 30 años, Toxicological profile for Arsenic, August 2007, US Department of Health and Human Services ATSDR.

De acuerdo a la definición EPA se indica que el MRL (minimal risk level) de arsénico es de 0,005 mgAs/kg-día basado en la exposición oral aguda (≤ 14 días) en arsénico inorgánico. La dosis de mínimo riesgo (MRL) para exposición crónica (seguimiento mínimo de 7 años para efectos cancerígenos y un año para efectos no cancerígenos) se ha definido en 0,0003 mgAs/kg-día, que es idéntica a la dosis de referencia (RfD) de la EPA para ingesta crónica oral de arsénico.

Hierro

El hierro es un elemento esencial en la nutrición humana. Las necesidades diarias mínimas de este elemento varían en función de la edad, el sexo, el estado físico y la biodisponibilidad del hierro, y oscilan entre 10 y 50 mg/día.

El IPCS clasifica al hierro como un elemento de baja toxicidad y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) señala que las sales de hierro son prácticamente no tóxicas para las aves y levemente tóxicas para las ratas. El sulfato heptahídrico de hierro es moderadamente tóxico para invertebrados acuáticos, y levemente tóxico para peces.⁹ La EPA también señala que no se anticipan efectos adversos derivados del uso de sales de hierro para aves, mamíferos o poblaciones acuáticas. Si se asigna un 10% de la MIDTP (dosis de ingesta máxima tolerable) al agua de consumo, se obtiene un valor de 2,4 mg/l, que no supone un peligro para la salud. A concentraciones inferiores se verán afectados generalmente el sabor y aspecto del agua de consumo. La OMS no propone ningún valor de referencia para evitar daños a la salud por el hierro en el agua de consumo, debido a que no hay evidencia de efectos dañinos a la salud en humanos.

La JEFCA propone como ingesta máxima diaria de hierro provisional 0,8 mg/kg peso-día¹⁰, que para el caso de una persona con 70 kilos, asumiendo una ingesta diaria de 2 litros de agua al día, aceptando que por esta vía la persona ingiere el 10% de la dosis total como lo indica la OMS, se concluye que la dosis máxima de hierro en el agua sería 2,4 mg/l, teniendo presente que NO existe norma de referencian por daño en salud.

Los problemas de salud asociados a la acumulación de hierro en el ser humano comprendían tradicionalmente la hemocromatosis provocada por un defecto genético (gen HFE) con

⁹ United States Office of Prevention, Pesticides EPA-738-F-93-002 Environmental Protection and Toxic Substances. February 1993 Agency (7508W)R.E.D. FACTS

¹⁰ Cabe señalar que para mantener la comparabilidad con Minuta técnica SMA hemos utilizado 0,7 mg/kg peso-día, pero advertimos que no hemos encontrado ese valor de referencia en los documentos internacionales de referencia.

distribución exclusiva en poblaciones de origen caucásica¹¹ y las derivadas de enfermedades que requieren transfusiones múltiples¹². Sin embargo, en años recientes se han descubierto muchos otros defectos genéticos que condicionan acumulación de hierro en el organismo y que se encuentran también en poblaciones no caucásicas¹³.

Una segunda fuente de preocupación actual la constituye el reconocimiento de que el metabolismo del hierro parece jugar un rol en la etiopatogenia de la enfermedad¹⁴. Es así como en enfermedades neurológicas como el Alzheimer, y la enfermedad de Parkinson hay acumulación de hierro en la sustancia nigra¹⁵ y otras regiones del cerebro^{16,17}. Aún no hay evidencia de que la acumulación de hierro, claramente relacionadas a desregulaciones de la homeostasis local del elemento, esté involucrada en la cadena causal de estas enfermedades neurodegenerativas y se realiza mucha investigación en esas áreas. También se ha reconocido la existencia de alteraciones del metabolismo del hierro en enfermedades del ojo¹⁸ que comprenden diversas estructuras como córnea (pterigión y keratocono), cristalino (stress oxidativo en la génesis de las cataratas) y retina (maculopatía degenerativa); enfermedades endocrinológicas como la diabetes mellitus, en que tampoco la causalidad de la asociación está probada¹⁹.

En síntesis los efectos de la carencia de hierro están muy bien estudiados y documentados. Los efectos de la toxicidad asociada a niveles de acumulación por sobre las necesidades fisiológicas es un campo de investigación activa con muchas preguntas abiertas. Dado que los seres humanos necesitan hierro han desarrollado una serie de mecanismos para obtenerlo de los nutrientes y también para defenderse de su exceso, de tal manera que la relación entre ingesta y daño no es simple y requiere necesariamente pasar por fallas en los sistemas fisiológicos de regulación.

La norma chilena de calidad del agua potable acepta niveles de hierro inferiores a 0,3 mg/l, límite especialmente relacionado con la aceptabilidad y no con el potencial daño a la salud.

¹¹ Niederau C et al: Epidemiology, clinical spectrum and prognosis of hemochromatosis. *Adv Exp Med Biol* 1994; 356:293-302.

¹² C.P. Ozment, J.L. Turi: Iron overload following red blood cell transfusion and its impact on disease severity *Biochimica et Biophysica Acta* 1790 (2009) 694-701

¹³ Pietrangelo A et al: Non-HFE hepatic iron overload. *Semin Liver Dis* 2011; 31:302-18.

¹⁴ Connor JR, Ghio AJ: The impact of host iron homeostasis on disease *Biochimica et Biophysica Acta* 1790 (2009) :581-82

¹⁵ Corresponde a una estructura cerebral específica.

¹⁶ A.M. Snyder, J.R. Connor: Iron, the substantia nigra and related neurological disorders. *Biochimica et Biophysica Acta* 1790 (2008) 606-614.

¹⁷ Wright RO, Baccarelli A. Metals and Neurotoxicology. *J. Nutr* 137:2809-2813, 2007.

¹⁸ A. Loh et al. Iron homeostasis and eye disease. *Biochimica et Biophysica Acta* 1790 (2009) 637-649.

¹⁹ S.N. Rajpathak et al. The role of iron in type 2 diabetes in humans. *Biochimica et Biophysica Acta* 1790 (2009): 671-681

En consideración a los potenciales efectos adversos para la salud, la IOM (Institute of Medicine) definió un límite de ingesta diaria de Hierro de 40 mg para los niños y 45 mg para los mayores de 14 años.

Manganeso

Hay manganeso de origen natural en muchas fuentes de aguas superficiales y subterráneas, sobre todo en condiciones anaerobias o de microoxidación, y es la fuente más importante de manganeso en el agua de consumo, aunque la mayor exposición proviene, habitualmente, de los alimentos.

La OMS no tiene un valor de referencia recomendado y no lo declara como una sustancia de preocupación para la salud, debido a que los niveles encontrados en el agua están muy por debajo de los requeridos para ver algún efecto a la salud. La guía señala como límite de seguridad 0,4 mg/l, sin embargo, como las concentraciones en el agua de consumo se encuentran muy por debajo de ello, no se considera normarlo.

El manganeso es un elemento esencial para el ser humano y otros animales. Tanto la carencia como la sobreexposición pueden causar efectos adversos. Se sabe que el manganeso produce efectos neurológicos tras la exposición por inhalación, especialmente de tipo laboral, y hay estudios epidemiológicos que han notificado efectos neurológicos adversos tras la exposición prolongada a concentraciones muy altas en el agua de consumo. Sin embargo, en esos estudios hay varios posibles factores de confusión significativos y en otros varios estudios no se han observado efectos adversos tras la exposición por el agua de consumo.

La dosis de referencia (RfD) recomendada por la EPA señala una concentración de $2,4 \times 10^{-2}$ mg/kg peso-día, que proviene de un NOAEL (no observed adverse effect level) de 10 mg/día en alimentos. Utilizando este valor recomendado para una persona de 70 kilos que ingiere 2 litros de agua al día, determina un concentración en agua no mayor a 0,84 mg/l para asegurar una ingesta segura.

Al igual que otros parámetros, la presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0,1 mg/l en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable y mancha la ropa lavada y las instalaciones sanitarias, que ha sido definido como el umbral de aceptabilidad, que se encuentra muy por debajo del riesgo en salud.

4.1.3 Antecedentes generales relativos a la aceptabilidad del agua para consumo humano

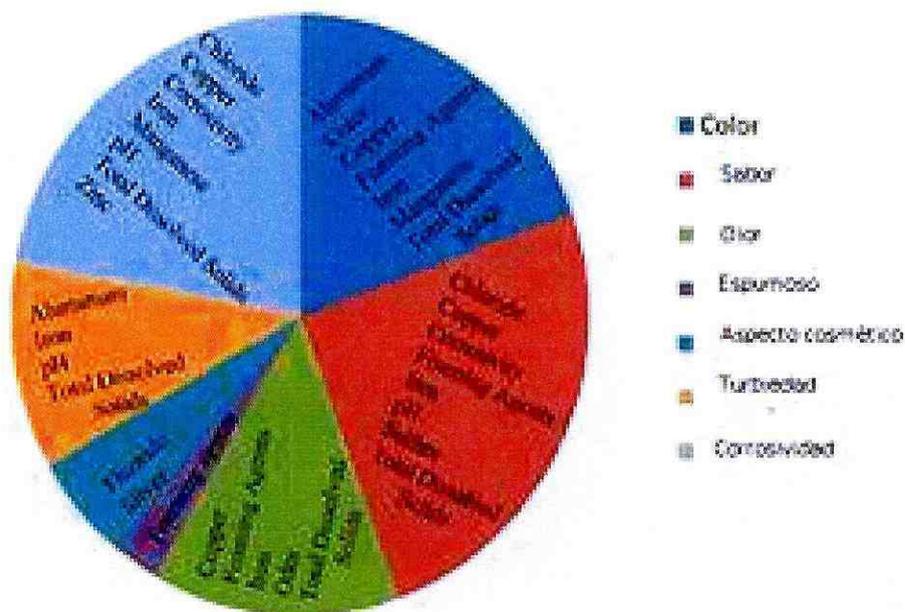
La EPA, en materia de calidad del agua para consumo humano, ha definido también niveles máximos recomendados para sustancias que producen efectos negativos sobre la salud, siendo estos límites de seguridad que se fijan para evitar un daño a la salud de las personas, que suelen estar muy en sintonía con las recomendaciones de la OMS. Adicionalmente ha

establecido normas secundarias que recomiendan límites máximos recomendados que apuntan a evitar condiciones de aspecto (espuma, turbidez), olor, color, sabor y otros atributos que afectan la aceptabilidad del agua en el consumo humano. Si bien, algunos autores recomiendan modificar esta denominación porque puede confundir en términos de evaluación del riesgo a la salud, todos coinciden en la importancia de que estos criterios se mantengan, ya que la aceptabilidad del agua es requisito para su ingesta apropiada y la generación de los beneficios a la salud que trae consigo el agua potable.

Para la OMS, en casos extremos, las personas pueden evitar consumir agua que es inocua pero inaceptable desde el punto de vista estético, y consumir en cambio agua de otras fuentes cuyo aspecto sea más agradable pero que puede ser insalubre y generarles daño a la salud.

A continuación se presenta una figura (¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.) que da cuenta de las sustancias y los aspectos organolépticos que pueden afectar principalmente, para tenerlos en consideración.

Figura 4-2: Efectos sobre la aceptabilidad del agua de consumo²⁰



²⁰ Guía de OMS sobre el consumo de agua, capítulo aceptabilidad: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_10.pdf

A continuación se presentan los límites recomendados por EPA y OMS respecto de algunas sustancias químicas y parámetros del agua DAR que podrían afectar la aceptabilidad:

Aluminio: La presencia de aluminio en concentraciones mayores que 0,1–0,2 mg/L suele ocasionar quejas debido a la precipitación del flóculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución del agua y al aumento de la coloración del agua por el hierro, que da un aspecto terroso que reduce la aceptabilidad.

Hierro: al entrar en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable. El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías. En niveles por encima de 0,3 mg/L, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0,3 mg/L, aunque pueden aparecer turbidez y coloración.

Manganeso: La presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0,1 mg/L²¹ en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeso en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución. Las concentraciones menores que 0,1 mg/L suelen ser aceptables para los consumidores.

pH: Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua. Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea menor que 8; no obstante, el agua con un pH más bajo será probablemente corrosiva. El pH óptimo necesario variará en distintos sistemas de abastecimiento en función de la composición del agua y la naturaleza de los materiales empleados en el sistema de distribución, pero suele oscilar entre 6,5 y 8²².

Turbiedad: La turbidez en el agua de consumo está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 UNT suele ser aceptable para las personas, aunque esto puede

²¹ La EPA recomienda 0,05 mg/L

²² La EPA establece un rango recomendado entre 6,5 – 8,5 para pH.

variar en función de las circunstancias locales. La turbidez es un factor protector de la salud, ya que es observable y evita la ingesta de agua que pudiera estar contaminada, en el caso de aguas naturales. En el caso de aguas que son tratadas para potabilizarse, la turbidez puede afectar el efecto de la cloración del agua por lo cual debe previamente sedimentarse los sedimentos para cumplir con la calidad adecuada para el consumo humano.

Considerando que los efectos señalados en relación a las características organolépticas están vinculadas con la aceptabilidad del agua para su consumo, pero no conllevan efectos sobre la salud, no se realiza la evaluación del riesgo a la salud del pH, turbiedad y conductividad.

4.2. Evaluación de la dosis-respuesta

Es la descripción cualitativa o cuantitativa de las propiedades inherentes de las sustancias consideradas en el punto anterior, que tienen la capacidad potencial, en ciertas dosis, de causar efectos adversos en la salud de las personas. Esta relación, en su forma cuantitativa, da cuenta del incremento de la probabilidad de aparición y de la severidad de los efectos adversos o daños a la salud, establecidos para cada vía de exposición (ingesta, inhalación, contacto dérmico, etc) con el aumento de la dosis.

En el caso de sustancias no cancerígenas, se admite un rango de concentraciones que va de cero hasta un valor umbral, que determina el límite máximo que puede tolerar una persona sin que se manifiesten efectos, es decir si las concentraciones están por debajo de este umbral, se considera que NO EXISTE RIESGO A LA SALUD.

Para estas sustancias se establecen dosis de ingesta definidas en base a un volumen de ingesta de agua del río de 2 l/día para toda la población adulta, como lo recomiendan las Guías de Calidad de Agua de la OMS y EPA. Previamente se explicó porque no se realiza este análisis para el consumo de agua de los niños debido a la variabilidad de pesos y consumos de agua según edad.

Los valores de referencia establecidos pueden variar si se está evaluando un efecto por exposición aguda (2 semanas o menos tiempo de exposición), exposición intermedia (más de dos semana hasta un año de exposición) o exposición crónica (más de un año pudiendo ser toda la vida expuesto si se mantienen las concentraciones elevadas por sobre las concentraciones definidas como ingesta segura). A estas dosis se les denomina "dosis de referencia" (RfD), "ingesta diaria aceptable" (ADI), "nivel de riesgo mínimo" (MRL) entre otras denominaciones.

Para sustancias que presentan efectos cancerígenos, se considera en general que no existe un nivel de exposición que no lleve aparejada la probabilidad finita, por pequeña que sea,

de desarrollar esa respuesta cancerígena²³. En este caso la dosis-respuesta se refiere a la potencia tóxica de la sustancia de provocar cáncer y se expresa a través de un factor de pendiente (Slope Factor (SP)) que indica en cuanto aumenta la probabilidad de desarrollar un cáncer a lo largo de la vida debido a la exposición crónica de una dosis de la sustancia, calculándose como el producto entre el factor de pendiente y la dosis diaria de exposición crónica, considerando el período de tiempo en el cual la población estuvo expuesta a una mayor concentración del contaminante evaluado (en este caso es solamente aplicable a arsénico).

De la revisión actualizada de las dosis de referencia recomendadas como seguras, a continuación se presenta en la Tabla 4-1 los valores de ingesta segura actualizados para las sustancias químicas de interés en esta evaluación de riesgo, señalando la institución que la recomienda, el valor de referencia y el tiempo de exposición al cual se asocia. Se agrega la NCh 409/2005 debido a que constituye el primer criterio para definir si las concentraciones de una sustancia en el agua del río que podrían generar o no riesgo para la salud de las personas que la beban, de acuerdo a lo establecido para Chile. Sin embargo, es importante señalar que esta norma está vigente desde el 2005, por lo cual se han revisado las normas internacionales más recientes de manera de actualizar los parámetros de referencia para evaluar el riesgo en salud en base al conocimiento científico actual.

Del conjunto de niveles de referencia internacionales para una ingesta segura (ver Tabla 4-1), los criterios utilizados para su selección como el mejor parámetro de referencia a utilizar en esta evaluación de riesgo son los siguientes:

1 Se privilegiará el parámetro recomendado por la OMS que se indique en las "Water Guidelines" más actualizadas, ya estos valores de referencia están definidos específicamente para la ingesta de agua en el consumo humano y por lo tanto representan de mejor manera la condición de exposición que se está evaluando en este estudio.

2 En ausencia del parámetro recomendado por la OMS se utilizará el valor recomendado por EPA (RfD), ATSDR y finalmente JEFCA, en tanto se aproxime de mejor manera límite definido en la NCh 409/2005.

Respecto de los valores de referencia ATSDR se han incluido los que figuran en el listado de abril 2015 que está en su web. Las dosis de referencia (RfD) IRIS/EPA, que corresponde

²³ De ahí la importancia de considerar el riesgo incremental como se explica más adelante en este informe.

al sistema integrado de información de la EPA que es la base de todas sus normas y recomendaciones, se obtiene de la base de datos consultada en la web en julio del 2015.

Tabla 4-1: Valores de referencia para ingesta de sustancias químicas de interés

Parámetro	OMS Water Guideline		Parámetros IRIS EPA / en base		Minimal Risk Levels para ingesta Oral (ATSDR)			JECFA/FAO*		
	Valor parámetro	Tiempo de exposición	RfD	Tiempo de exposición	Agudo	Intermedio	Crónico	Valor	Parámetro	Tiempo de exposición
Aluminio	0,9 mg/L**	Crónico	no hay		no hay	1 mg/Kg-día	1 mg/Kg-día	2 mg/Kg bw	PTWI	Crónico
Arsénico	0,01 mg/L	Crónico	3 E-4 mg/Kg-día	Crónico	0,005 mg/Kg-día	no hay	0,0003 mg/Kg-día	0,015 mg/Kg bw***	PTWI	Crónico
Hierro	no hay		no hay		no hay	no hay	no hay	0,8 mg/Kg bw	PMTDI	Agudo, Intermedio y Crónico
Manganeso	no hay		2,4 E-2 mg/Kg-día	Crónico	no hay	no hay	no hay	no hay	no corresponde	

Nota:
 * Para los valores MRL/ATSDR y JECFA/FAO expresados en dosis por kilo de peso, se asume un peso promedio de 60 kilos, una ingesta diaria de 2 litros de agua y asume que el 20% de la ingesta del parámetro es por consumo de agua.
 ** la evaluación OMS se basa en recomendación JECFA anterior a la vigente hoy, que la aumenta de 1 a 2 mgr/kg peso a la semana, por lo cual es muy probable que OMS tenga que elevar el valor de referencia actual.
 *** esta dosis de ingesta semanal fue retirada del Codex como norma para aditivos en alimentos el 2011.

La Tabla 4-2 detalla los valores de referencia de ingesta segura con la cual se evalúa la situación de riesgo a la cual ha estado expuesta la población de Chollay.

Tabla 4-2: Valores de referencia utilizados para las concentraciones de los parámetros en el agua

Parámetros	Unidad	Valor de Referencia	Fundamento
Aluminio	mg/L	7	MLR = 1 mg/kg para un individuo de 70 kilos que ingiere 2 L de agua al día y que representa el 20% de la ingesta total de Al da un valor de concentración en el agua de 7 mg/L
Hierro	mg/kg peso/día	0,7 ²⁴	Criterio JEFCA para efecto en salud. NCh 409/2005 de 0,3 mg/L basado en efectos organolépticos (mal sabor) no en daño a la salud.
Manganeso	mg/kg peso/día	0,024	RfD EPA. NCh409/2005 establece 0,1 mg/L basado en características organolépticas (mal sabor).

Fuente: Elaboración propia.

Para estudiar el riesgo de cáncer, se revisaron los parámetros de la EPA en que se realiza el análisis, la tabla siguiente (Tabla 4-3) muestra los valores de referencia para este riesgo.

La clasificación del efecto carcinógeno actualmente se define de la siguiente manera:

- A Carcinógeno para humanos
- B Probable carcinógeno humano
- C Evidencia sugerente de potencial carcinogénico
- D Información inadecuada para evaluar el potencial carcinogénico
- E No es probable que sea carcinógeno para los humanos

El Slope factor, o factor de pendiente del cáncer, da cuenta del riesgo por acción directa agentes cancerígenos específicos basados en la dosis de exposición según su ingesta diaria (mg/ kg-día)⁻¹ y se refiere al riesgo de cáncer debido a esta exposición (incremento anual) durante toda la vida (70 años). Esta estimación generalmente se utiliza en el área de dosis baja de la relación dosis-respuesta, es decir, para riesgos menores de 1 en 100.

²⁴ A pesar de que la JEFCA/FAO indica 0,8 mg/kg peso-día hemos utilizado el mismo valor de referencia utilizado por SMA para mantener la comparabilidad en el análisis.

Tabla 4-3: Valores de referencia para ingesta según análisis de carcinogenicidad²⁵

Parámetro	Parámetros IRIS EPA / en base datos julio 2015		
	Carcinogenicidad		
	Clasificación	Slope factor	Unit risk
Arsénico	A	1,5 (mg/Kg-día) ⁻¹	5 E-5 (ug/L) ⁻¹
Hierro	no hay	no hay	no hay
Manganeso	D	no hay	no hay

La evidencia respecto de las sustancias que pueden generar cáncer fue actualizada desde el Integrated Risk Information System/EPA (web: www.epa.gov/iris/), donde hasta la fecha solamente el arsénico constituye una sustancia clasificada como carcinógeno para humanos, cuya evidencia fue publicada el 1° de febrero del 1993 en términos de la dosis de referencia (RfD) y el 10-abril 1998 se determina la potencia de su efecto mediante el establecimiento del slope factor y unit risk para el agua de beber. En este caso para el arsénico el slope factor y el unit risk son equivalentes, por lo cual se puede usar cualquiera de los dos para ingesta de agua. En caso de ingesta de alimentos, que no es el caso, es mejor slope factor.

Se estimó el riesgo incremental asociado a la ejecución del proyecto, considerando dos escenarios de medias de concentración de arsénico:

1. La media (UCL 95) de concentración de arsénico acumulada desde que se puso en marcha el proyecto (oct 2009-jun 2015).
2. Las medias (UCL 95) de concentración de los 4 períodos definidos en la Evaluación de Riesgo realizada por la SMA.

Las demás sustancias no presentan evidencia de algún efecto carcinogénico hasta la fecha de actualización realizada en el presente estudio.

Tal como se indicó previamente la concentración en el punto de exposición se ha estimado considerando la media con un límite de confianza del 95%²⁶ (UCL 95) en el punto de monitoreo NE-8.

²⁵ Los valores en verde son los priorizados para la evaluación de riesgo.

²⁶ En algunos casos se utilizó el percentil 99 debido a la escasa disponibilidad de datos sobre el límite de detección.

4.3. Evaluación de la exposición

El propósito de esta fase de la evaluación de riesgo es estimar el tipo y magnitud de la exposición de la población que podría haberse afectado (receptores directos corresponden a la población cercana al río Del Estrecho que podría ingerir agua para su consumo desde el río), considerando la ruta de exposición completa o potencialmente completa, que puede generar el riesgo en este caso.

Tal como se ha señalado, la población en riesgo sería la que vive en zonas cercanas a la estación NE-8, que se ha definido como el primer punto aguas arriba de donde podría existir captación de agua para consumo humano y que pudiera verse afectada por las actividades del proyecto. Cabe de todos modos señalar que la calidad del agua en la estación NE-8, si bien trae el agua del río Estrecho que proviene de los sectores de actividad del Proyecto, podría verse influida por las aguas provenientes del río Blanco. A pesar de esta situación, se ha resuelto evaluar este punto porque es el punto considerado en la evaluación de impacto ambiental original.

La información de las dosis de referencia, está permanentemente actualizándose a partir de estudios internacionales validados científicamente, y se obtiene de diferentes bases de datos que son de libre acceso (IRIS: Integrated Information System de US-EPA: www.epa.gov/IRIS/; Organización Mundial de la Salud (OMS): www.inchen.org/ o jecfa.ilsa.org/index.htm u otra páginas; Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR-USA) www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html, entre otros referentes internacionales.

4.3.1 Ruta de exposición

La ruta de exposición que está dada por la determinación de la fuente contaminante, medio de traslado del contaminante hasta la población receptora, punto de contacto y finalmente la vía de exposición a través de la cual el contaminante ingresa al organismo humano y genera algún efecto sobre la salud. Para este caso la ruta de exposición se presenta a continuación.

4.3.1.1 Fuente contaminante

La fuente contaminante que se estudia es el potencial aporte de algunas sustancias químicas que incrementan su concentración en el Río del Estrecho durante el periodo de construcción del Proyecto Pascua Lama en el punto NE-8. Los contaminantes a analizar serán los parámetros DAR que superen el máximo definido en la norma de calidad del agua de consumo humano (NCh 409/2005) que son Arsénico, Manganeseo y Hierro. Se ha agregado el Aluminio, que si bien no está en la NCh 409, supera la norma internacional de referencia para ingesta recomendada por OMS y ATSDR.

Se utilizan los valores del límite superior 95% del intervalo de confianza de la media (UCL 95) como lo recomienda la EPA, de los períodos de anomalía observados en la calidad del agua superficial.

4.3.1.2 El mecanismo de salida o liberación del contaminante

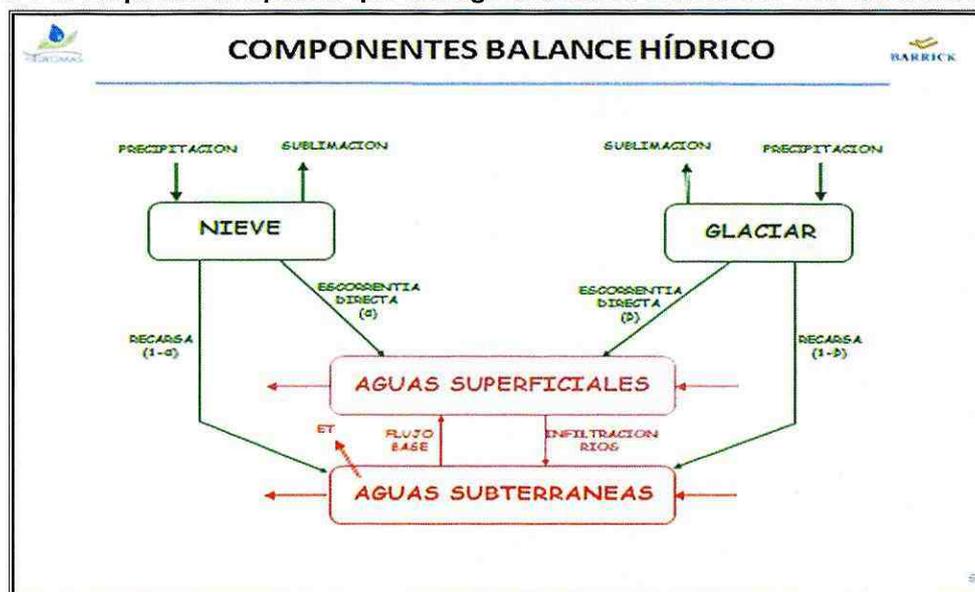
El mecanismo de salida que se considera es la posibilidad de afectar la calidad del agua del Río Del Estrecho con las actividades de construcción y operación del Proyecto. Por lo cual se evalúa la tendencia de las concentraciones de los parámetros relevante a partir del octubre del 2009 en adelante.

4.3.1.3 Medios para que se desplace el contaminante

En este caso, el medio por el cual se desplazan los parámetros que se consideran relevantes para la salud, es a través de las aguas superficiales del Río Del Estrecho-Chollay que es captada para el consumo de la población cercana al proyecto.

Considerando el esquema de componentes del balance hídrico de la cuenca presentada en la Figura 4-3, se considera el escenario más desfavorable. Este escenario asume que los aportes de aguas subterráneas, suelo y subsuelo, la atmósfera, los sedimentos y la biota, se mantienen constantes en relación a la línea base previa al proyecto, y por lo tanto, todo cambio en las concentraciones de las sustancias químicas estudiadas en el Río Del Estrecho, se debe al Proyecto.

Figura 4-3: Esquema de aportes que entrega el balance hídrico Río Del Estrecho/Chollay



Fuente: Hidromas en presentación sobre el balance de aguas regional/local de la Cuenca hidrográfica ríos Chollay/Estrecho para Proyecto Pascua Lama, diciembre 2014.

4.3.1.4 El punto de exposición o lugar específico en el cual la población entra en contacto con el agua del Río Estrecho

Para esta evaluación, se han utilizado las definiciones de criterios que establecen los escenarios más desfavorables para la evaluación del riesgo en salud, referidas a la calidad del agua superficial en el primer punto de contacto de la población de Chollay con el Proyecto Pascua Lama, que se establece en la estación NE-8.

El escenario que asume esta evaluación de riesgo, es que la población de Chollay estuvo expuesta a las concentraciones de los diferentes parámetros de calidad del agua del Río Estrecho debido a que fue utilizada para el consumo humano en este punto de contacto. Sin embargo esto no es así, dado que el punto de captación del APR se encuentra aproximadamente a 10 km. aguas abajo del punto NE-8. Sin embargo, se utiliza este punto para realizar la evaluación para que ambos estudios sean comparables y porque coincide con lo desarrollado en el EIA.

4.3.1.5 Vía de exposición

Si bien las vías de exposición a las sustancias disueltas en las aguas del Río Estrecho, podrían ser por inhalación e ingesta, un cálculo simple permite estimar que, en general, la exposición diaria por vía respiratoria usando incluso niveles altos de concentración en aire medidos representan, en todos los casos, aportes despreciables para los efectos considerados en la presente evaluación de riesgo.

Por ello en esta evaluación se ha privilegiado solamente incluir la vía de exposición por ingesta del agua con las concentraciones de estos parámetros en el punto de cierre del proyecto (NE-8), teniendo claro que el punto de captación del agua de consumo humano se encuentra aguas abajo y distante de esta estación, y se captan de pozos de napas subterráneas.

4.3.1.6 La población receptora

El Proyecto Pascua-Lama se encuentra en la zona cordillerana en la frontera entre Chile y Argentina.

El proyecto, por la parte chilena, está ubicado específicamente en la Región de Atacama, aproximadamente a 80 kilómetros al sur este de Alto del Carmen y a unos 150 kilómetros al sur-este de la Ciudad de Vallenar. Por lo que la comuna de influencia corresponde a Alto del Carmen.

Esta comuna tiene un mayor porcentaje de población rural, cuyas características geográficas corresponde a una zona semiárida, donde la población ha debido adaptarse a las condiciones de escasas de agua, desarrollando dinámicas culturales arraigadas a los recursos naturales de mar a cordillera. Las principales actividades económicas desarrolladas en el área de estudio son gran minería y agricultura, además de pequeña minería, agricultura de subsistencia y crianza de animales.

Se ha considerado como población potencialmente afectada por el proyecto, a la población de la localidad de Chollay, aun cuando se encuentra a una distancia que supera los 39 kilómetros, porque es el primer punto donde una potencial afectación de la calidad del agua del río Estrecho por aumento en las concentraciones de alguno de los parámetros químicos por parte de este proyecto, podría ser bebida por la población y, generar un riesgo a su salud.

De acuerdo a lo informado en el EIA, la población de la localidad de Chollay, presentaba el siguiente perfil en términos de edad y sexo de acuerdo a la información proporcionada por el INE proyectada por el censo 2002 para junio del 2011 (Tabla 4-4).

Tabla 4-4: Población de Chollay 2011 (Censo 2002)

Localidad de Chollay			
Edad	Hombre	Mujer	Total
Menor 1 año	2	3	5
1-5 años	3	2	5
6-20 años	38	24	62
21-64 años	59	47	106
65 y más años	14	10	24
Total	116	86	202

Fuente: Línea Base EIA Proyecto Pascua Lama.

De la población más cercana al área del Proyecto, de acuerdo a lo informado en el EIA, se confirma que la población principalmente se concentra en la localidad de Chollay representando el 80% de toda la población de esta área como se muestra en las tablas siguientes. Esto se confirma con otra información obtenida de la SMA, donde se indica que todos los lactantes menores de un año (5 en el año 2014), que constituyen una de las poblaciones más sensibles, se ubican en la localidad de Chollay. A continuación se presenta la distribución de la población del sector.

Tabla 4-5: Población de Chollay y de fuera de Chollay

Localidad de Chollay				Fuera de Chollay			
Edad	Hombre	Mujer	Total	Edad	Hombre	Mujer	Total
Menor 1 año	2	3	5	Menor 1 año	0	0	0
1-5 años	2	2	4	1-5 años	1	0	1
6-20 años	26	16	42	6-20 años	12	8	20
21-64 años	50	39	89	21-64 años	9	8	17
65 y más años	13	9	22	65 y más años	1	1	2
Total	93	69	162	Total	23	17	40

Fuente: Línea Base EIA Proyecto Pascua Lama.

Según lo observado en el trabajo de campo, debido a los cambios migratorios, se estima que la población adulta ha crecido considerablemente. Por ello para una mejor estimación de la población que pudiera verse afectada por la calidad del agua se ha ajustado la población en base a una nueva proyección que realiza el INE durante el 2015. La nueva proyección de población 2013-2020, sustituye a la proyección de población vigente 2002-2050, publicada en 2005, a la espera del censo abreviado de 2017.

La información básica utilizada para la actualización de las proyecciones de población, a nivel país y regiones, proviene de los registros de estadísticas vitales (nacimientos y defunciones) y de los registros administrativos del Departamento de Extranjería del Ministerio del Interior, para el periodo 2002-2012. Además, se incluye información proveniente de censos de otros países de la ronda 2010, para determinar los chilenos emigrantes. Para la migración interna fueron utilizadas las Encuestas CASEN y Encuesta Nacional de Empleo (ENE).

Esta actualización se realiza a nivel de regiones, provincias y comunas de todo el país, por lo cual para este análisis, se ha aplicado el mismo crecimiento observado a la comuna Alto del Carmen para el 2011-2012-2013 y 2014 a la población de Chollay. A continuación se presenta la proyección de población de la comuna Alto del Carmen, que confirma un crecimiento del 21,6% en la población estimada según censo 2002 para el año 2011, que es la misma que se proyecta para Chollay.

Tabla 4-6: Población de la comuna Alto del Carmen (proyección INE 2015)

Comuna Alto del Carmen			
Año	Hombres	Mujeres	Total
2011	3.246	2.617	5.863
2012	3.315	2.660	5.975
2013	3.377	2.699	6.076
2014	3.450	2.744	6.194

Tabla 4-7: Población de la localidad Chollay (proyección INE 2015)

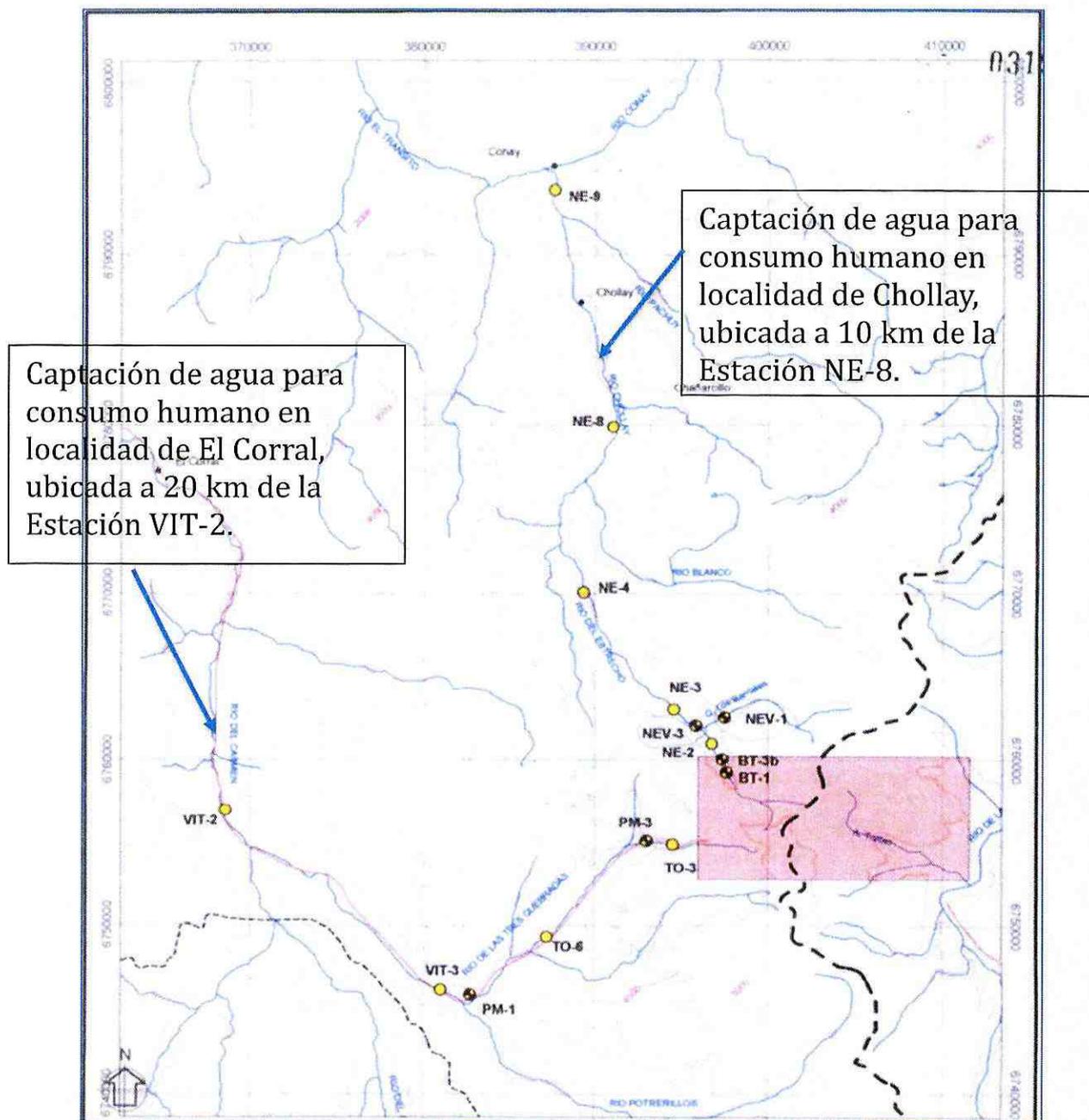
Localidad de Chollay (INE 2015)			
Año	Hombres	Mujeres	Total
2011	141	105	246
2012	144	107	251
2013	147	108	255
2014	150	110	260

Fuente: elaboración propia en base proyección comunal INE 2015.

Otro punto cercano al área del proyecto corresponde a las zonas pobladas ubicadas en el Río Del Carmen, cercano a la localidad El Corral, tal como se aprecia en la figura siguiente, pero este sector se encuentra en una cuenca hidrográfica distinta de la cuenca Estrecho-Chollay relevante para efectos de este estudio.

Tal como se muestra en la figura siguiente, para el resto de las localidades cercanas al proyecto (Conay, El Tránsito, Alto del Carmen y otras) que se encuentran aguas abajo de Chollay, solo podría presentarse algún riesgo en su salud, si en el punto NE-8 se superen las normas de calidad primaria (NCh409/2005) y en la evaluación del riesgo de Chollay se concluyera un riesgo a la salud importante derivado de elevadas concentraciones de alguna sustancia, lo cual no ocurre.

Figura 4-4: Características del área de influencia Proyecto para la descarga en aguas superficiales

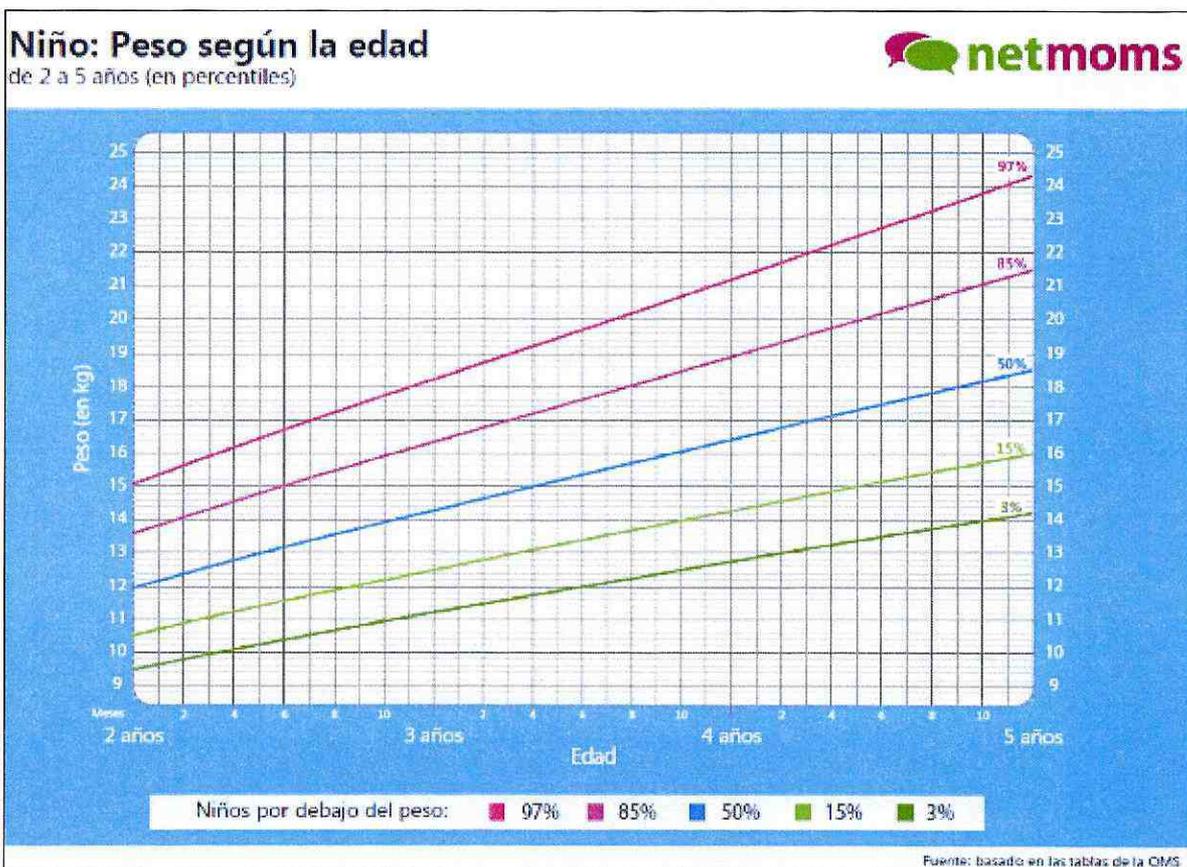


Fuente: figura presentada en el EIA del 2004 actualizada

Para definir la población receptora en este caso, si hubiera alguna afectación en riesgo a la salud debido a la ingesta de agua desde el Río Del Estrecho, si toda la población de la localidad de

Chollay consumiera el agua del río podrían verse afectados un total de **260 personas** aproximadamente²⁷.

No se han incluido los niños para la evaluación de riesgo debido a las dificultades que genera la gran variabilidad de peso según edad, como se observa en la tabla peso-edad en niños de la OMS que se presenta a continuación.



Adicionalmente se genera otra dificultad relativa a la variabilidad en el consumo de agua de los niños en que dependiendo de la edad pueden duplicar la ingesta de otro grupo etáreo y por lo

²⁷ La población estimada por el informe SMA es de 202 personas, que corresponde a la proyección censo 2002 sin el ajuste de crecimiento estimado por INE (2015) que si está siendo considerado en este estudio.

tanto resulta difícil establecer un valor promedio. A continuación se presenta un cuadro de ingesta recomendada de agua para niños.

Tabla 4-8: Recomendaciones de ingesta adecuada de agua en niños de 0 a 18 años, emitida por el Instituto de Medicina de Estados Unidos (IOM)

	Consumo total de agua*	Agua obtenida del consumo de bebidas
Ambos sexos		
0 a 6 meses	0.7 L/día	-
7 a 12 meses	0.8 L/día	-
1 a 3 años	1.1 L/día	0.9 L/día
4 a 8 años	1.7 L/día	1.2 L/día
Niños		
9 a 13 años	2.4 L/día	1.8 L/día
14 a 18 años	3.3 L/día	2.6 L/día
Niñas		
9 a 13 años	2.1 L/día	1.6 L/día
14 a 18 años	2.3 L/día	1.8 L/día

* Incluye el agua contenida en los alimentos, la cual representa entre 24 y 29% del consumo de agua al día, de acuerdo con el grupo de edad.

Fuente: Institute of Medicine, *Dietary Reference Intakes (DRIs) for water, potassium, sodium, chloride and sulfate*, 2005.

De acuerdo a la información entregada por la empresa, la gran mayoría de los habitantes actualmente se abastecen por Sistemas de Agua Potable Rural. Los sectores pequeños y más aislados son abastecidos principalmente camión aljibe municipal, siendo mínima la población que podría abastecerse de agua obtenida directamente de los ríos del sector. De acuerdo a lo informado por la empresa el 72% de la población (176 personas) se abastecen de Agua Potable Rural y el resto la población de Chollay ubicada en el sector alto (más alejada del río Del Estrecho) recibe abastecimiento de camión aljibe, como lo informa el Municipio de Alto del Carmen, el detalle se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 4-9: Situación de abastecimiento de agua para consumo humano en localidades Valle El Tránsito

Localidad	Sectores que abarca la localidad	Población	Sistema de Abastecimiento de Agua/ Fecha de Inscripción comités
Valle El Tránsito			
Placeta	Placeta-Punta Negra- El Terró	84	Placeta: Agua Potable Rural. Suministra Las Marquesas Punta Negra: Agua Potable Rural. 09-09-2013 El Terrón: Camión Aljibe Municipal
Marquesa	La Marquesa- El Olivo	194	Las Marquesas: Agua Potable Rural. 09-01-1995 El Olivo:
Chigüinto	Chigüinto	83	Chigüinto: Agua Potable Rural. 17-11-1998
Las Pircas	Las Pircas	139	Sistema de Agua Potable. Suministra Los Perales.
Los Perales	Perales Norte y Perales Sur	111	Agua Potable Rural. 15-05-1995
El Tránsito	El Tránsito-La Fragua- Chanchoquín G- Chanchoquín Chico	422	Chanchoquín Chico: Agua Potable Rural. 02-03-1995 El Tránsito: Agua Potable Rural. 06-03-1995 La Fragua: Sin Información.
La Arena	La Arena	216	La Arena: Agua Potable Rural. 22-12-1994
La Angostura	La Angostura	109	Suministra La Pampa
Pinte	Pinte	11	Sin Información
La Pampa	La Pampa	108	Agua Potable Rural. 06-03-1995
Los Tambos	Los Tambos- Parral- Colpe	161	Los Tambos: Agua Potable Rural. 04-09-1995 Parral: sin información Colpe: Sin Información
Chollay	Chollay	176	Agua Potable Rural. 15-11-2007 Existen casas en el sector alto de la localidad sin abastecimiento, suministra camión aljibe municipal.
Conay	Conay-Malaguín	163	Agua Potable Rural. 04-09-1995
Junta de Valeriano	Junta de Valeriano-El Corral de Valeriano	227	Junta de Valeriano: Agua Potable Rural. 07-06-2001

Fuente: Elaboración propia, con información entregada por la empresa.

Por lo cual, sin considerar el abastecimiento por camión aljibe, solamente quedaría expuesta a consumir esta agua de manera permanente, 2 litros diarios de agua del río Del Estrecho, la población que se localiza fuera de la localidad, que corresponde al 28% de toda la población de Chollay, es decir se podrían ver afectados un total de 50 personas (las cuales serían abastecidas por los citados camiones).

4.3.2 Dosis de exposición

Las dosis de exposición se estiman para cada sustancia química de relevancia para la salud, considerando como vía de exposición (la forma en que el agente ingresa al organismo) la ingesta a través del agua de consumo humano, a partir de la información disponible sobre la calidad del agua en el punto NE-8 se determinarán las concentraciones de exposición y estas se aplicarán respecto de la población potencialmente expuesta, que es la población de Chollay y las comunidades en torno a la ribera del río Estrecho hasta Alto del Carmen.

a) Para estimar las concentraciones de las sustancias químicas a las cuales se evalúa la exposición, utiliza los criterios recomendados por la OMS y EPA, que considera para la exposición crónica, el uso del límite superior del intervalo de confianza de 95% de la dosis media del período estudiado (UCL 95).

b) Respecto de las variables que describen a la población expuesta y que permiten calcular las dosis de exposición, se considera para cada sustancia química estudiada, la frecuencia de exposición de 1 que asume la ingesta de 2 litros de agua del río Estrecho para los adultos con un peso corporal promedio de 70 kilos.

La fórmula genérica de cálculo de las dosis diarias de exposición por ingesta derivada del consumo de agua es la siguiente:

$$I = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Dónde:

I: corresponde a la ingesta del potencial contaminante (dosis suministrada a través de la ingesta del agua del río Estrecho expresada en mg/kg/día, considerando los supuestos ya indicados: 2 litros de agua al día.

C: Concentración del contaminante en el punto de exposición, que se ha definido como la concentración de la sustancia en el punto NE-8 expresada en mg/L y cuando corresponda las concentraciones en el punto NE-9. Para el caso de exposición crónica e intermedia se utiliza el promedio ponderado del límite superior (95%) del intervalo de confianza de la media (UCL 95) de los períodos analizados.

CR: Tasa de contacto que se estima el consumo de 2 litros de agua al día desde el río Estrecho, esto considera el mismo supuesto del estudio de riesgo realizado por la SMA, que considera que el 100% del agua de esa población la consume directamente del río.

EF: fracción de los días del año en que un sujeto está expuesto. Si se asume que todos los días consume el agua del río Del Estrecho, el valor es 1.

ED: Duración de la exposición que en este caso corresponde al tiempo en el cual, las personas han estado expuestas a las concentraciones de la sustancia (UCL 95), expresado en días. En este caso los tiempos considerados son los siguientes:

Tabla 4-10: Períodos de duración de la exposición de la población utilizados para análisis del riesgo

Período de exposición	Días
ED (Duración de la exposición pre-proyecto)	4.474
ED (Duración de la exposición pre-infracción)	852
ED (Duración de la exposición no activación PAD)	365
ED (Duración de la exposición post-infracción)	879

BW: Peso corporal (body weight) se utiliza un peso promedio de 70 kilos.

AT: Tiempo de promedio o período sobre el cual se promedia la exposición (días). Para contaminantes no cancerígenos se considera que AT es el tiempo total de exposición crónica (30 años o 10.950 días); para contaminantes cancerígenos el tiempo promedio se considera que es una vida completa (la OMS considera 70 años y también por defecto lo recomienda la Guía de Evaluación del SEA), es decir, $AT = 365 \text{ días} \times 70 \text{ años} = 25.550 \text{ días}$.

La unidad en que se expresa la magnitud de la exposición está relacionada con la ruta de exposición y el tipo de contaminantes que se analizan en el presente estudio, por lo cual las sustancias estudiadas se expresan en mg/kilo de peso-día, teniendo como patrón de referencia una persona adulta para todos los parámetros.

Para establecer las concentraciones a las cuales pudo estar expuesta la población, se asume que ingieren solamente agua obtenida directamente del Río del Estrecho y no, como se ha detectado según la información aportada por el Municipio de Alto del Carmen, consuman el agua proveniente de APR (Agua Potable Rural) cuyas fuentes son aguas de napas subterráneas que no presentan las concentraciones detectadas en las aguas superficiales. El uso del intervalo de confianza del 95% de la media (UCL 95), es un estimador conservador porque utiliza el valor más alto al cual podrían estar expuesto en promedio las personas que consumen agua en ese lugar.

Las concentraciones (mg/l) utilizadas para el cálculo de las dosis de exposición en el punto NE-8 para cada uno de los períodos analizados en base a la información analizada, son las mismas que informa el estudio de la SMA.

Tabla 4-11: Concentraciones (mg/l) para cálculo de dosis de exposición en NE-8

Parámetros	Unidad	Concentraciones (mg/l) utilizados (UCL 95) en agua del río Estrecho (NE-8)			
		L Base (1997 a sept 2009)	Período oct 2009 a enero 2012	Período feb 2012 a enero 2013	Período feb 2013 hasta últimos registros
Aluminio	mg/L	4,692	8,868	7,265	3,649
Arsénico	mg/L	0,003	0,018	0,023	0,004
Hierro	mg/L	0,883	3,862	5,497	0,967
Manganeso	mg/L	0,838	2,232	2,135	1,293

Fuente: se utilizan las mismas concentraciones de los parámetros utilizadas por estudio SMA (UCL95)

A continuación se presentan los resultados de las dosis de exposición diaria para los adultos, considerando las concentraciones señaladas en la tabla anterior, y utilizando los criterios previamente señalados. Los valores coinciden para todos los períodos con las señaladas por la SMA, con excepción del período no activación del PAT en los parámetros aluminio, hierro y manganeso. Para el arsénico en todas las dosis de exposición calculadas los valores son diferentes a los señalados por la SMA, como se muestra en la siguiente tabla (ver Tabla 4-12).

Tabla 4-12: Dosis de exposición (mg/kg día) para la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8

Parámetros	Unidad	Dosis de exposición (mg/kg día) utilizados en Adultos de 70 kilos			
		L Base (1997 a sept 2009)	Período oct 2009 a enero 2012	Período feb 2012 a enero 2013	Período feb 2013 hasta últimos registros
Aluminio	mg/kg día	0,1341	0,2534	0,1077	0,1043
Arsénico*	mg/kg día	1,50E-05	1,71E-05	9,39E-06	3,93E-06
Hierro	mg/kg día	0,0252	0,1103	0,0319	0,0276
Manganeso	mg/kg día	0,0239	0,0638	0,0377	0,0369

Fuente: basado en las concentraciones UCL 95 de cada parámetro en el agua para cada período. Para el As se utiliza la dosis de exposición incremental con la cual se estima el riesgo incremental de efectos cancerígenos, como lo recomienda la EPA y OMS.

La diferencia observada en el período de no activación PAT se debe a que la SMA asume que se mantiene el mismo valor de este período para todo el período de exposición (30 años para los parámetros aluminio, hierro y manganeso; 70 años para el efecto cancerígeno del cáncer). Las diferencias observadas para las dosis de exposición al arsénico que se identifican para todos los períodos se explica porque la dosis utilizada en este estudio corresponde a la exposición incremental del período analizado y no se proyecta para toda la vida, esto permite al momento de evaluar el riesgo (estimación del coeficiente de peligro HQ) poder sumar los riesgos

incrementales para el efecto cancerígeno del arsénico de todos los períodos desde la puesta en marcha del Proyecto (octubre 2009 en adelante).

4.4. Caracterización del riesgo

En esta etapa se estima cuantitativamente el riesgo que es la probabilidad de que se produzca alguno de los efectos adversos que se reportan para las sustancias de relevancia de acuerdo a las condiciones de la calidad del agua que podría haber sido ingerida por la población.

Tal como lo indica la Guía de Evaluación de Riesgo²⁸ y también lo utiliza el estudio de la SMA, para contaminantes químicos no cancerígenos se debe utilizar el Cuociente de Peligro (HQ o Hazard Quotient), análogo a la razón de exposición, que se calcula como la fracción entre la dosis diaria de exposición (obtenida según la fórmula señalada en el punto anterior) y la ingesta diaria aceptable (ADI), concentración de referencia (RfC), dosis de referencia (RfD). Este análisis da cuenta de cuan cerca o lejos está la ingesta a la que estuvo expuesta la población respecto de la ingesta segura recomendada por los organismos internacionales (OMS, JEFCA, ATSRD, EPA).

$$HQ = \frac{\text{Dosis de exposición diaria (mg/kg de peso/día)}}{\text{Dosis de referencia de ingesta segura (mg/kg de peso/día)}}$$

Para el cálculo de la dosis de exposición diaria, tal como se indicó en el capítulo anterior, se ha utilizado para los períodos definidos en el estudio de la SMA (pre-proyecto, pre-infracción, no activación PAT y post-infracción), el límite superior de la media con un 95% de intervalo de confianza (UCL 95).

Considerando que el riesgo que se evalúa es la exposición crónica a cada contaminante, que se estima para un período de 30 años, se define la dosis de exposición de la siguiente manera:

1. Para estimar el riesgo (HQ) del período pre proyecto, se asume que la dosis de exposición de las personas por el período de 30 años corresponde a la dosis de exposición del período pre-proyecto siempre, lo que corresponde al riesgo de la población en el punto NE-8 en ausencia del Proyecto.
2. Para estimar el riesgo del período pre infracción, se asume que la dosis de exposición de las personas para los próximos 30 años sería la dosis de exposición del período pre infracción en el punto NE-8 de manera constante.

²⁸ Guía de evaluación de impacto ambiental y riesgo para la salud de la población en el SEIA Editor: Servicio de Evaluación Ambiental ISBN: 978-956-9076-06-0, 2012

3. Para estimar el riesgo del período no activación PAT, se asume que la dosis de exposición está compuesta por una exposición a una dosis mayor de este período (que corresponde a 1 año) y que los próximos 29 años las personas se expondrán a la dosis de exposición del período post-infracción²⁹.
4. Para estimar el riesgo del período post infracción, se asume que la dosis de exposición de las personas corresponde a la dosis de exposición estimada para este período que se mantiene por los próximos 30 años.

Para el caso de contaminantes químicos cancerígenos lo que se estima es el riesgo incremental que aporta esta ingesta, utilizando la estimación del Slope Factor (Factor de Pendiente) que es el recomendable para la ingesta de agua. En este caso, esta calificación aplica solo para el Arsénico que está definido en categoría "A" que significa carcinógeno para humanos según la IARC (International Agency of Research on Cancer). Se estima el riesgo incremental correspondiente a la dosis de exposición a arsénico que aporta cada período analizado, asumiendo un horizonte de vida de 70 años.

A continuación se presenta la evaluación del riesgo a la salud para cada uno de los parámetros relevantes para la salud.

4.4.1.1 Aluminio

Usando la dosis diarias de 1 mg/por kilo día de una persona adulta de 70 kilos que ingiere 2 litros de agua diaria, se estima el riesgo de exposición crónica, a la cual las personas podrían estar expuestas en los próximos 30 años, considerando los períodos definidos se presenta a continuación.

Tabla 4-13: HQ para exposición a Aluminio de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8

Parámetro	Coficiente de Peligro (HQ)	HQ derivado período Pre Proyecto	HQ derivado período Pre Infracción	HQ derivado período no activación PAT	HQ derivado período Post Infracción
Aluminio	HQ GAC	0,1341	0,2534	0,1077	0,1043
	HQ SMA	0,1340	0,2534	0,2076	0,1043

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en ninguno de los escenarios analizados, del presente estudio y de la SMA, el HQ supera el nivel de ingesta segura, por lo cual se concluye que no hay riesgo a la salud derivado del consumo de Aluminio en el agua para la ingesta en ninguno de los períodos

²⁹ Se podría asumir que en algún momento las concentraciones retornen a los valores de la línea base, pero no se considera ese escenario en este análisis, lo cual constituye un escenario más conservador.

analizados. Cabe señalar que los coeficientes de peligro son muy similares con excepción del cálculo estimado por la SMA para el período de no activación PAT en que el coeficiente duplica al estimado en el presente estudio. La razón de esta diferencia está dada porque la SMA ha estimado que el riesgo al cual se exponen las personas se mantiene con las concentraciones de ese período por los próximos 30 años, en consecuencia que las concentraciones evidentemente se redujeron en el período post infracción y por lo tanto no es correcto presumir que la población continua expuesta a las concentraciones observadas el 2012. En este análisis se asume que en los próximos 29 años la exposición se mantiene similar al período post infracción.

Si adicionalmente, se considera que concentraciones por sobre 0,1 mg/L producen problemas de aceptabilidad del consumo de agua, es altamente probable, dado las concentraciones de aluminio en estas aguas, que no sean aceptables para su ingesta y por lo tanto no logren generar ningún daño a la salud.

4.4.1.2 Hierro

Cabe señalar que el problema principal del agua con concentraciones elevadas de Hierro, está dada por su aceptabilidad, donde la recomendación OMS señala que el límite debiera ser 0,3 mg/L. que corresponde al límite definido por la NCh 409/2005. Dadas las concentraciones observadas se concluye que es muy probable que esta agua no presente un sabor aceptable y por lo tanto no se utilice para el consumo humano.

Sin perjuicio de lo anterior se ha calculado el cociente de peligro (HQ) que deriva de la ingesta del agua del Río Del Estrecho, utilizando RfD de 0,7 mg/kg de peso día, en caso de que sea utilizada para el consumo humano, cuyos resultados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 4-14: HQ para exposición a Hierro de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8

Parámetro	Coeficiente de Peligro (HQ)	HQ derivado período Pre Proyecto=	HQ derivado período Pre Infracción=	HQ derivado período no activación PAT=	HQ derivado período Post Infracción=
Hierro	HQ GAC	0,0360	0,1576	0,0456	0,0395
	HQ SMA	0,0360	0,1576	0,2244	0,0395

Fuente: elaboración propia

En este caso al igual que para el aluminio, todos los coeficientes de riesgo están muy por debajo de 1, a partir del valor sobre el cual se podría concluir que exista algún riesgo para la salud de la población. Al igual que en el caso anterior, la única diferencia con el análisis de la SMA se refiere al período no activación PAT en que el criterio utilizado en este estudio considera que la exposición por el resto de los años será según las concentraciones observadas en el período post infracción.

4.4.1.3 Manganeso

En su metabolismo, la evidencia confirma que del total ingerido se absorbe muy poco (3 a 5% de lo ingerido), sin embargo en esta evaluación se asume una absorción total, lo cual constituye un escenario que da un margen muy elevado de seguridad.

Cabe señalar que la NCh 409/2005 de 0,1 mg/L está basada en características organolépticas que afectan su aceptabilidad por lo cual al igual que en el caso del hierro es probable que las personas no ingieran estas aguas cuando superen estos límites que están muy por debajo de los niveles a partir de los cuales se pueden ver riesgos a la salud.

La norma de referencia utilizada, dosis de referencia de la EPA que es de 0,024 mg/kg de peso día, lo que equivale a la concentración de 0,84 mg/L para la ingesta de 2 litros de agua diaria en un adulto. Los cuocientes de peligro se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-15: HQ para exposición a Manganeso de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8

Parámetro	Coefficiente de Peligro (HQ)	HQ derivado período Pre Proyecto=	HQ derivado período Pre Infracción=	HQ derivado período no activación PAT=	HQ derivado período Post Infracción=
Manganeso	HQ GAC	0,9976	2,6571	1,5727	1,5393
	HQ SMA	0,9980	2,6567	2,5420	1,5390

Fuente: elaboración propia

De los resultados se desprende que en la condición más exigente existiría un riesgo para la salud por efectos crónicos tanto para todos los períodos de ejecución del proyecto e incluso en el período post infracción. Nuevamente se presenta la diferencia en la estimación del presente estudio respecto de lo estimado por la SMA para el período de no activación PAT debido a la misma situación ya descrita.

Cabe señalar que el Manganeso es un nutriente esencial que el ser humano requiere especialmente para evitar la osteoporosis y otras patologías asociadas. De acuerdo a la información proporcionada por MedlinePlus de la Biblioteca Nacional de Medicina de USA³⁰, de acuerdo a la IOM, señala que “la ingesta de más de 11 mg al día podría no ser segura para algunos adultos” (NOAEL, No Adverse Effect Level). Para el caso analizado, se podría llegar a consumir 4,27 mg en el período de no activación PAT para alcanzar un nivel de exposición cercano la dosis a partir de lo cual se podría observar algún efecto adverso, distante del valor a partir del cual la ingesta de manganeso podría no ser segura.

³⁰ Ver página web: <https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/druginfo/natural/182.html>

4.4.2 Efectos cancerígenos de los parámetros estudiados

Para los efectos cancerígenos, se realiza el análisis para la exposición al arsénico, que es el único parámetro que tiene efectos cancerígenos comprobados en la evidencia científica como fue señalado previamente.

Para la EPA, la metodología recomendada para evaluar el riesgo incremental de cáncer a la piel, que son atribuibles específicamente a la ingesta de agua con arsénico, es el método del riesgo unitario.

El método del riesgo unitario para el consumo de arsénico inorgánico en el agua, señala que se esperaría un aumento del riesgo basal de cáncer a la piel de 5 por 10^{-5} , por cada incremento de 1 $\mu\text{g/L}$ en la concentración de arsénico en agua, basado en datos de estudios dosis-respuesta en humanos realizados en Taiwan. Supone el consumo de 2 litros de agua por un hombre de 60 Kg. La metodología es absolutamente equivalente al uso del factor de pendiente si se emplea la ingesta de 2 litros para un hombre de 60 Kg. Para efectos de comparabilidad con el estudio de la SMA se emplea el factor de pendiente considerando un sujeto de 70 kg que ingiere 2 L al día de agua.

Los resultados indican el riesgo en exceso de presentar cáncer atribuible a la ingesta de As en el agua del río, en los períodos analizados por la SMA se presenta en el cuadro siguiente.

Tabla 4-16: Riesgo incremental de cáncer por exposición a Arsénico de la población adulta ubicada en el área de influencia del punto NE-8 (Slope Factor)

Factor de pendiente cancerígena (FPC) o Slope factor		Riesgo incremental período Pre Proyecto=	Riesgo incremental período Pre Infracción=	Riesgo incremental derivado período no activación PAT=	Riesgo incremental derivado período Post Infracción=
Arsénico	FPC GAC	2,25E-05	2,57E-05	1,41E-05	5,90E-06
	FPC SMA	1,18E-04	7,57E-03	1,00E-03	1,56E-04

Fuente: elaboración propia

En este caso todos los riesgos en exceso estimados por la SMA son superiores a los del presente estudio. La razón de estas diferencias se debe a que la SMA asume que el riesgo en exceso de cáncer por exposición a As para cada período es extrapolable a los 70 años de vida con la misma exposición, lo cual está errado.

La manera de estimar el riesgo en el presente estudio se detalla a continuación.

El riesgo incremental se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$R \text{ incremental} = \frac{(\text{UCL}) * \text{ED (días)} * \text{Slope factor}}{\text{AT} * \text{Bw}}$$

Dónde:

R incremental = riesgo incremental de cáncer a la piel por Arsénico (As) para el período

UCL CE = Límite superior del intervalo de confianza de la media de concentración de As en cada período analizado (valores en mg/l de la tabla 5-10).

ED = tiempos de exposición de los períodos analizados se detallan a continuación:

Período de exposición	Días
ED (Duración de la exposición pre-proyecto)	4.474
ED (Duración de la exposición pre-infracción)	852
ED (Duración de la exposición no activación PAD)	365
ED (Duración de la exposición post-infracción)	879

Slope factor = factor de pendiente definido por EPA para Arsénico (el valor es $1,5 \text{ (mg/Kg-día)}^{-1}$)

AT = tiempo total en el cual se puede observar el efecto de cáncer (70 años o 25.550 días).

Bw= peso corporal de 70 Kg.

Se acepta un riesgo incremental aceptable sobre el basal cuando es de 10^{-6} o menos, riesgo que ha sido denominado como esencialmente “negligible”³¹ para los efectos regulatorios internacionales (USA, Canadá, Europa). Por otra parte, la EPA considera que existe un riesgo incremental atribuible a una condición específica, cuando el riesgo incremental es de 10^{-4} o mayor. Por lo cual, se puede concluir que aun cuando el riesgo es bajo ($1,41 \times 10^{-5}$), en el período no activación PAT, este riesgo en exceso está levemente por sobre a lo establecido como riesgo aceptable en otras partes del mundo y de acuerdo a lo que recomienda la EPA debiera investigarse la situación y confirmar la presencia de personas expuestas efectivamente a este riesgo (en este caso personas que han consumido 2 litros de agua al día directamente del Río Del Estrecho en todo el período estudiado).

En el presente estudio, el riesgo en exceso de cáncer por As se calcula como la contribución precisa que genera la exposición observada por el tiempo definido para cada período (ver cuadro de tiempos de exposición ED más arriba) y no se extiende a los 70 años, debido a que no es posible determinar cuál será la real exposición en un futuro tan lejano. La ventaja que además tiene la estimación de estos riesgos incrementales para períodos excluyentes entre sí, es que también permite sumarlos y por ello es posible concluir que el riesgo atribuible a la ingesta del agua desde el Río Del Estrecho es de $4,32 \times 10^{-5}$, considerando desde octubre del 2009 hasta las últimas mediciones analizadas (junio 2015).

³¹ Deriva del inglés que significa: sin importancia, trivial, insignificante

En base a estos resultados, la EPA recomienda evaluar la situación y verificar la real exposición de la población, que debiera estudiar a las personas que efectivamente consumen agua del río en el entorno cercano a NE-8 como primer paso.

Considerando que la estimación del riesgo por efecto cancerígeno del arsénico del estudio realizado por la SMA, considera que las personas continúan por los próximos 70 años expuestos a las concentraciones observadas en el período de no activación PAT, evidentemente el riesgo calculado por la SMA está sobreestimado.

Cabe señalar que debido a que los riesgos de los diferentes períodos indicados por la SMA, se han estimado para los 70 años de vida de una persona, expuestos a la condición del período analizado, no pueden sumarse debido a que no son excluyentes, lo cual puede inducir a un error en su interpretación.

5. CONCLUSIONES

El modelo de análisis que se ha utilizado para esta evaluación del riesgo en salud de los parámetros estudiados, si bien se basa en la metodología recomendada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) validada por el Ministerio de Salud, se ha ajustado a las definiciones de períodos establecidos en el estudio de riesgo preparado por la SMA, con la finalidad de obtener resultados comparables.

El objetivo es determinar el riesgo a la salud de la población cercana al proyecto, debido a cambios en las concentraciones de las sustancias químicas presentes en el agua del río Del Estrecho que han sido identificadas con incrementos en las concentraciones del agua del río, que pudieron afectar la salud de la población de Chollay bajo el supuesto hipotético, de que el 100% del agua de consumo humano, de toda esa población la obtienen directamente del río Del Estrecho en un punto cercano al punto NE-8, situación que como se explica latamente en el informe, no corresponde a la realidad.

Este supuesto de ingesta, evidentemente constituye el escenario más desfavorable y un escenario teórico de acuerdo a la información entregada tanto por la SMA, como por la empresa, en cuanto a que la gran mayoría de esta población consume agua del APR o del camión aljibe.

En este análisis de riesgo se asume un escenario hipotético, en donde las emisiones de la atmósfera, la ingesta de metales en alimentos, los sedimentos y la biota, se mantienen constantes y por lo tanto los posibles efectos en la salud sería atribuibles a cambios en la calidad del agua de beber tomada directamente del Río del Estrecho.

El marco de análisis considera los parámetros incluidos en la evaluación de riesgos en salud realizada por la SMA.

El análisis considera el comportamiento de los parámetros en los períodos de tiempo definidos por la SMA. Por lo anterior, se analiza el comportamiento de los parámetros en la calidad del agua de los siguientes períodos:

1. Línea base o período pre proyecto: se define desde que existen mediciones en calidad del agua hasta septiembre del 2009, ya que permite evaluar la calidad del agua superficial en base al comportamiento histórico del Río Del Estrecho.
2. Período pre infracción: considera el período comprendido entre octubre del 2009, fecha en la cual declara el inicio de la construcción de las obras del Proyecto, hasta enero del 2012.
3. Período de no activación del Plan de Alerta Temprana (PAT): que abarca los 12 meses móviles entre febrero del 2012 hasta enero del 2013.
4. Período Post Infracción: desde febrero del 2013 hasta junio 2015, que da cuenta del monitoreo de calidad del agua del período posterior al cese de faenas del Proyecto.

Se ha definido como punto de análisis el punto NE-8, el cual constituye el punto de control de la Norma NCh 409/2005, para calidad de agua potable en el río Del Estrecho; cuya localización se definió durante la evaluación ambiental del Proyecto por ser éste el punto más cercano a la primera captación de agua para consumo humano aguas abajo del área del Proyecto, con la finalidad de mantener las condiciones para su comparación con la evaluación de riesgo de la SMA.

Al respecto cabe aclarar que dicha definición del punto se realiza en el EIA (durante el año 2005) y por tanto emplea información tomada del censo del año 2002. No obstante, la situación hoy en día es distinta, no sólo porque existe información que indica que la fuente de agua potable de la zona es agua de pozo (APR) o bien abastecimiento de camiones aljibe, por lo cual desde que el proyecto se pone en marcha, solo esporádicamente la población tomaría agua directamente del río, de modo que la exposición real evidentemente es menor que el escenario que se presenta en este estudio de riesgo, así como en el informe preparado por la DFZ/SMA.

Para evaluar el riesgo a la salud, se realiza el análisis considerando lo siguiente:

1. Con la data de información sobre calidad del agua del punto NE.8, se verifica la evaluación de riesgo en salud realizada por la SMA, para los parámetros de preocupación identificados en ese estudio y para los mismos períodos.
2. Los criterios de referencia son los mismos que los señalados por la SMA, normativa chilena NCh 409, normativas internacionales de referencia (EPA, ATSDR, OMS), utilizando la metodología recomendada por la Guía de Evaluación de Riesgo en Salud publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), que se basa en la metodología EPA, corrigiendo los errores metodológicos de análisis que se detectaron en la evaluación de riesgo de la SMA previamente sistematizados.

3. En todos los casos se fundamenta la metodología utilizada para obtener los resultados que se presentan en este informe, incluyendo los argumentos por los cuales no es razonable utilizar el Índice de Peligro Total en este caso.

La evaluación de riesgo en salud se realiza utilizando supuestos que consideran condiciones de los escenarios más desfavorables de exposición posibles, de manera de dar garantías sobre la solidez de sus resultados. Los supuestos utilizados son:

1. Se asume que las personas localizadas en el área de influencia del Proyecto (Chollay) consumieron al menos 2 litros/día de agua del río para adultos para todos los parámetros.
2. Para definir las concentraciones a las cuales podría estar expuesta la población, considerando la variabilidad entre muestreos, se ha utilizado el límite superior del intervalo de confianza del 95% de la media (UCL 95), como lo recomienda la EPA (ProUCL versión 5.0), que es el mismo criterio utilizado por la SMA, a objeto de tener resultados comparables (lo cual da cuenta de un escenario muy conservador).

Para la evaluación de riesgo se realiza el análisis en base a las concentraciones de ingesta recomendadas como seguras por OMS y/o a las dosis de referencia (RfD) de la EPA. En ausencia de estos parámetros, se usan los niveles mínimos de riesgo (MRL) de ATSRD/CDC o los niveles de ingesta segura definidos por la JEFCA/FAO para evitar daños a la salud. Todos estos instrumentos de referencia, se basan en revisiones científicas, confiables, rigurosas, extensivas, y que son referentes para la gran mayoría de los países del mundo y son los criterios utilizados por la SMA en su evaluación de riesgo en salud (Ver Codex Alimentario FAO/JEFCA y la página web del IRIS Integrated Risk Information System).

Un aspecto que afecta la ingesta y que no se puede considerar en la evaluación del riesgo a la salud, porque está claramente demostrado que no genera ningún daño para la salud humana, son los efectos que ciertos parámetros producen sobre la aceptabilidad del agua. Estos parámetros son: pH, conductividad, color, olor, turbiedad. Cabe destacar que algunos parámetros químicos (hierro, aluminio y manganeso) presentan la condición de no aceptabilidad con concentraciones mucho menores que las concentraciones a partir de lo cual se podría ver un efecto sobre la salud, debido a lo cual, si la población cuenta con alguna alternativa de abastecimiento de agua de beber (Agua Potable Rural o Camiones Aljibe), es muy probable que se evite la ingesta del agua del río y con ello no se genere ningún riesgo para su salud.

La evaluación de riesgo considera la condición de exposición crónica (efectos frente a una exposición sostenida por un año y más, como lo establece la OMS y EPA), contemplando para ello un consumo de 2 litros de agua todos los días para los adultos en los períodos definidos por la SMA (pre proyecto o línea base, pre infracción, no activación PAT y post infracción).

En todos los períodos analizados, en general se concluye que se observa la superación de la norma de referencia, por tiempos acotados (durante los meses de enero) y parte del año 2012.

Para evaluar el riesgo en salud, se ha definido como población susceptible a la población de Chollay, que ajustada según las nuevas proyecciones del INE 2015 alcanza un máximo de 260 personas que constituye un número de personas mayor al estimado en el estudio de la SMA que no realiza este ajuste.

Los principales resultados de esta evaluación de riesgo señalan lo siguiente:

1. Para el Aluminio (Al): de acuerdo a la dosis de referencia recomendada por la ATSDR/CDC, para calidad del agua de consumo humano, se utiliza la recomendación de ingesta segura con un límite de 1 mg/kg peso-día, para una persona adulta con un peso promedio de 70 kilos. Las concentraciones de Aluminio (mg/l) monitoreadas en la estación NE-8, en el período de no activación de PAT (UCL 95) alcanza a 7,265 mg/l. Por lo cual **el coeficiente de peligro (HQ) de Al** para una persona que hubiese consumido 2 litros del agua del río durante todo ese período y que siguiera expuesta a las concentraciones (UCL95) de Aluminio del período post infraccional por los próximos 29 años sería de **0,10** manteniendo las mismas consideraciones señaladas por la SMA. Con estos resultados se puede concluir que no hay riesgo para la salud atribuible al aluminio debido a las concentraciones de Al en el agua del río en el período de no activación del PAT. Si bien en el período pre infracción el HQ es mayor **0,25** se puede concluir que no existe un riesgo para la salud debido a que las concentraciones en el agua del río son de 8,87 mg/L (UCL95).
2. Para el Arsénico (As): de la evaluación de riesgo respecto de efectos cancerígenos, utilizando la metodología del **Slope Factor (Factor de Pendiente)**, se concluye que el riesgo incremental de cáncer a la piel a consecuencia de la ingesta de arsénico por consumo de 2 litros del agua del río todos los días del período de no activación PAT, es bajo (**$1,41 \times 10^{-5}$**). Adicionalmente, la estimación del riesgo incremental debido a la ingesta de arsénico del agua del río todos los días desde la puesta en marcha del proyecto (de octubre 2009 hasta la fecha) alcanza a un riesgo de **$4,57 \times 10^{-5}$** . Al respecto, el Programa Superfund de la EPA, establece un valor teórico de “una persona en un millón (10^{-6}) o menos que desarrolla el cáncer durante toda la vida”, como un riesgo aceptable. Entre ese valor y una frecuencia de una persona en diez mil (10^{-4}) que desarrolle cáncer durante toda la vida, recomienda evaluar si es necesario realizar acciones para reducir ese riesgo. En el caso en que el riesgo de cáncer exceda 10^{-4} , la EPA señala que se requiere llevar a cabo acciones remediatorias. Utilizando este criterio, se debiera evaluar si corresponde realizar alguna acción, para lo cual es indispensable avanzar en un diagnóstico más acabado de la situación de exposición al riesgo de la población, partiendo por determinar que personas tomaron el agua del río para su consumo todos los días durante los períodos señalados. Cabe recordar que de acuerdo a lo informado por la SMA y la información entregada por la empresa, la mayoría de la población de Chollay obtiene el agua de beber

de APR (Agua Potable Rural) y camión aljibe principalmente. Adicionalmente, la norma OMS aceptada por EPA y la norma chilena de As en agua potable, es de 0,01 mg/l, lo que equivale (usando el Slope Factor) a un riesgo aceptable socialmente de $4,28 \cdot 10^{-4}$ de cáncer de piel en 70 años sometido a las concentraciones de As normadas en agua, por lo cual estos niveles de riesgo estimado en el hipotético caso en que las personas tomaran 2 litros de agua del río todos los días durante el período evaluado sería menor al riesgo aceptado por la norma.

3. En relación a la exposición al Hierro (Fe), cabe señalar que hay evidencia de efectos negativos a la salud solamente con elevadas concentraciones de hierro en el agua, las cuales están muy por sobre aquellas concentraciones que afectan la aceptabilidad del agua debido a cambios de color, sabor y turbiedad (0,3 mg/l). Sin perjuicio de lo anterior, la evaluación de riesgo medida a través del **cuociente de peligro (HQ)**, concluye que el nivel de riesgo en el período de no activación PAT es de **0,046**, valor que está muy por debajo del valor 1, a partir del cual sería posible poder observar algún riesgo a la salud atribuible a esta exposición. Por ello se concluye que para las personas adultas que hubieren ingerido todos los días del año 2 litros de agua del río, no existe un riesgo para la salud asociado a este parámetro.
4. En el caso del Manganeseo (Mn), se confirma que desde el período de línea base o pre-proyecto, las concentraciones de este parámetro superan la NCh409/2005. La evidencia indica que es posible observar algunos efectos sobre la salud en dosis de ingesta en agua de beber sobre 0,024 mg/kg-día³², por lo cual en base a estas dosis de referencia de la EPA, se concluye que el **cuociente de peligro (HQ) para el período de no activación PAT es de 1,573 y un HQ para el período pre-infracional de 2,66**. Esto implica que para las personas que hubieren ingerido 2 litros del agua del río todos los días durante ese período (febrero 2012 a enero 2013), sería posible observar un riesgo a la salud. Considerando que la EPA reporta que en ingestas por sobre los 10 mg/día no sería posible descartar efectos en la salud (NOAEL), las concentraciones de Manganeseo en el agua del río (UCL 95) a las que pudo estar expuesta una persona que tomó 2 litros diarios de agua del río, alcanzarían un consumo de **4,27 (período no activación PAT) a 4,46 (pre-infracional) mg de Mn/día**, por lo se puede concluir que aún existe un margen para alcanzar el límite (NOAEL), a partir del cual se podría observar algún efecto sobre la salud debido a esta exposición. Adicionalmente podemos señalar que la evidencia de efectos negativos a la salud se presenta, respecto de manganeseo, con concentraciones que están

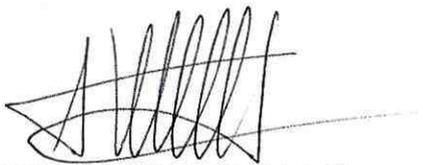
³² Basado en lo señalado por EPA RfD oral para ingesta en agua de beber:
<https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide-november-2015>

muy por sobre las concentraciones que afectan la aceptabilidad del agua para consumo humano (0,1 mg/l),

Respecto del análisis de riesgo, cabe recalcar que se ha realizado esta evaluación utilizando condiciones más desfavorables o "de borde" para calcular el riesgo en salud. Esto debido a que se ha estimado como riesgo de la población, el supuesto de que la ingesta de agua directamente del río Del Estrecho es de 2 litros diarios, todos los días del año, para una persona adulta. Considerando la información proporcionada por la SMA y por la empresa respecto del abastecimiento de agua potable, es muy probable que sea una mínima parte de la población del sector que cumpla con esta condición, y que la gran mayoría beba el agua potable rural o en su defecto se abastezca a través de los camiones aljibes.

Por todo lo anterior, es importante señalar que el riesgo informado en este análisis y también en el estudio de la SMA, está sobrevalorado en la medida que se hace sobre un escenario hipotético de consumo total de agua directamente del río Estrecho, y a pesar de ello, solamente se presenta un riesgo acotado para el Manganeso, sin que sea posible, con la evidencia científica disponible, atribuir algún efecto a la salud de importancia, como se ha señalado en este informe.

Adicionalmente en el resumen ejecutivo, se hace una enunciación de las principales deficiencias encontradas al informe acompañado por la SMA, y que llevan a sobreestimar los niveles de riesgo, en los términos que se indica en ese acápite. Esto dice especialmente relación, con la prolongación de los factores de riesgo asociados al periodo de construcción para 30 o 70 años según el contaminante en análisis; la suma de índices de riesgo (IPT) respecto de los cuales no es posible realizar dicha operación. En todo caso se recomienda revisar dicho resumen que da cuenta de las críticas que son corregidas en este informe.



DRA. SOLEDAD UBILLA F
CONSULTOR GAC



DR. CLAUDIO VARGAS R.
CONSULTOR EXTERNO GAC